Cosmologia secolului XX

Jacques Merleau-Ponty



J. Merleau-Ponty întreprinde în această monografie o sistematizare — după criterii epistemologice — a tuturor studiilor fundamentale de cosmologie apărute în ultimile decenii, o tipologizare metodologică a teoriilor și ipotezelor cosmologice aptă să orienteze analiza critică a perspectivelor constituite pînă acum în rezolvarea problemei cosmologiei. Lucrarea se distinge prin consec-

JACQUES MERLEAU-PONTY

Cosmologia secolului XX

Studiu epistemologic și istoric al teoriilor cosmologice contemporane



EDITURA ȘTIINȚIFICĂ ȘI ENCICLOPEDICĂ
București, 1978

Într-un interval de numai cîţiva ani, între 1917 şi 1925, un fizician genial şi un telescop gigantic, mînuit de un astronom pe măsura lui, au adus filozofiei naturii primul o idee, celălalt o nouă viziune a Universului, una mai surprinzătoare şi mai exaltantă decît cealaltă. Cosmologia modernă a luat naştere din această confluenţă, despre care ar fi puţine de spus, în afara faptului că ea oferă un exemplu preţios pentru toţi cei ce consideră că acţiunile omeneşti, chiar şi acelea pe care raţiunea este menită a le guverna singură, sînt supuse hazardului.

În Germania aflată în plin război, Einstein gîndea, în 1917, că a ajuns la o etapă decisivă pe calea „regească'' pe care o parcurgea aproape singur de cincisprezece ani. El crezu atunci că poate spune cum trebuie conceput Universul pentru ca fizica, pe care tot el o transformase căutînd s-o fundamenteze mai bine, să se poată prezenta fără ipoteze de prisos şi fără contradicţii. Aparent, el nu se preocupa prea mult de ceea ce se medita în observatoarele americane în legătură cu adevărata semnificaţie a aparenţelor cereşti, care nu erau atunci — nu încă — prea favorabile speculaţiilor sale.

În acest timp, pe malurile Pacificului, astronomii scrutau cu perplexitate imagini slabe în care se ascundea încă secretul nebuloaselor spirale. Ei aşteptau, pentru a da curs liber gîndurilor lor, montarea unui nou telescop, tot aşa cum un colonel aşteaptă artileria pentru a pune la încercare vitejia trupelor sale.

Nimic nu-i făcea să creadă că teoria relativităţii (despre care nu ştiau dealtfel multe) ar avea vreo legătură cu nebuloasele. Tradiţia cea mai venerabilă a astronomiei pozitive este de a nu lua în consideraţie nici o idee (fie ea bazată pe cea mai riguroasă matematică) dacă nu este adecvată exact aparenţelor bine descrise şi măsurate. (Astfel, Hiparh, cu douăzeci şi trei de secole mai înainte, preferase să măsoare ireproşabil, cu precizia ce-i era

accesibilă, precesia echinocţiilor, în loc să comită nebunia de a-şi imagina Pămîntul rostogolindu-se în spaţiu). Dealtfel, climatul strict pozitivist al ştiinţei americane se deosebea tot atît de mult de atmosfera metafizică din care izvorîse gîndirea lui Einstein ca cerul Californiei de acela al bătrînei capitale din nord.

Totuşi, fără ca cineva să bănuiască, cele două drumuri convergeau într-un punct încă îndepărtat pe care nimeni nu şi-l imaginase, nici măcar foarte vag. Atunci cînd se contură cea mai neaşteptată şi mai surprinzătoare dintre trăsăturile sale, descoperitorii „regatului nebuloaselor'' ezitară, aşa cum ezită şi Einstein în faţa consecinţelor ultime ale propriei sale revizuiri a conceptului de univers. Şi într-un caz şi în celălalt, se dezvăluia acelaşi adevăr, acela că Universul, nici prin geometria sa, nici prin structura metrică fără de care cunoaşterea sa nu ar fi posibilă, nu este o formă imuabilă, o configuraţie statică.

Dealtfel, în orice punct s-ar fi produs, confluenţa, între ideea revizuită asupra lumii şi imaginea sa transfigurată — nici aşteptată, nici pregătită — părea să permită raţiunii să-şi exercite un drept de la care trebuise să abdice pentru a se supune unuia din comandamentele cele mai riguroase ale catehismului ştiinţific: „Să nu vorbeşti despre Tot''; dreptul de a legifera asupra Universului, de a-i contura apriori înfăţişarea, de a-i reconstrui edificiul, dincolo de vizibil, pornind de la elementele sale gîndite şi măsurate adecvat.

Această nouă aventură a raţiunii formează subiectul prezentei lucrări. Vom schiţa mai întîi în linii mari noua înfăţişare a Universului, care, dezvăluită încetul cu încetul, s-a precizat către anul 1930. Vom urmări apoi, pe îndelete, drumul sinuos, mersul pe dibuite al unei gîndiri teoretice care era departe de a înţelege încotro se îndrepta, adevărata semnificaţie a ceea ce descoperea, şi care remarca în cele din urmă că ajunsese dincolo de ceea ce vizase Einstein iniţial, fără să rezolve totuşi problemele pe care el le pusese; gîndire numai pe jumătate fidelă teoriei relativităţii; sprijinindu-se pe ecuaţiile acesteia, dar introducînd ipoteze străine spiritului ei; incapabilă în cele din urmă să răspundă întrebărilor tradiţionale pe care ea însăşi le reînviase, dîndu-le un sens geometric precis, finitul şi infinitul, începuturile lumii, eterna reîntoarcere.

Vom vedea aşadar gîndirea cosmologică, răspunzînd cu îndrăzneală acestor provocări iritante, eliberîndu-se de obstacolele sale şi, regăsindu-şi o nouă tinereţe, angajîndu-se în cutezătoare acţiuni speculative, cărora va trebui să le descriem mişcarea,

să le explorăm orizonturile filozofice, să le delimităm cîștigul conceptual.

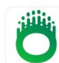
Vom vedea, de asemenea, cosmologia de inspirație strict relativistă angajîndu-se, după o îndelungată stagnare pe drumuri noi, nu mai puțin hazardate uneori, sub garanția liniștitoare a unei teorii fizice verificate.

Existența unei deveniri cosmice, a unei dimensiuni temporale distincte și orientate, la scara Universului observat, în același timp cu renașterea ipotezelor cosmogonice, se numără printre aspectele cele mai remarcabile ale lumii în noua sa înfățișare, ale gîndirii cosmologice în noul său curs. Acestor probleme le este consacrată o parte întreagă a lucrării.

După multe speculații, cosmologia revine totdeauna la observația astronomică, care a constituit unul din izvoarele sale și care este primul ei punct de contact cu empiricul. De aceea vom încerca o confruntare generală a teoriilor cosmologice cu datele de observație cele mai recente care ne sînt accesibile, înainte de a trage în cele din urmă învățămintele filozofice ale cercetării noastre.

Partea întîi

ÎNTEMEIEREA COSMOLOGIEI MODERNE



Capitolul I

TRANSFIGURAREA APARENȚELOR COSMICE ÎN PRIMA TREIME A SECOLULUI AL XX-LEA

În răstimp de cîțiva ani, între 1910 și 1930, chiar în perioada în care noțiunea de „atom" își schimba sensul, Universul astronomic a căpătat o fizionomie nouă, a suferit o adevărată transfigurare, nu mai puțin importantă decît cea care, la începutul secolului al XVII-lea, transformase Universul ptolemeic în Univers galileian. Cu toate că tabloul aparențelor cosmice s-a îmbogățit considerabil în ultimii treizeci de ani, noua înfățișare (noul *Gestalt*) nu s-a modificat în mod esențial. Ea formează încă decorul întregii gîndiri cosmologice; trebuie deci s-o descriem mai întîi, fără a ne opri prea mult nici asupra detaliilor, nici asupra necunoscutelor, nici asupra etapelor descoperirii.

Cîteva mii de stele repartizate capricios în constelații imuabile, rotindu-se într-un singur bloc, formează „sfera stelelor fixe", vizibilă, permanenta aparență a Universului, aceea pe care oricine o poate vedea, așa cum oamenii au văzut-o și au remarcat-o, probabil de cînd există oameni, în mod sigur de cînd ei știu să scrie. Pe acest fond stabil se conturează mii de fenomene variabile; acestea sînt mișcările obiectelor sistemului solar, de fapt foarte regulate sub o aparentă dezordine și care au reprezentat timp de secole prima problemă a astronomiei, a cărei rezolvare reprezintă preludiul avîntului științei pozitive.

Dar, pe sfera stelelor fixe, există o figură bine vizibilă; înregistrată la timpul ei de mitologia greacă și care contrastează destul de frapant cu restul — Galaxia, aparență ce trebuia depășită de două ori pentru a putea realiza „adevărata" imagine a Universului, cel puțin așa cum o considerăm acum, în secolul al XX-lea. Căci o privire sumară asupra Căii Lactee conduce direct la una din întrebările centrale asupra Universului. Stelele se repartizează în mod bizar pe cer, prin strălucirile, culorile și pozițiile lor. Această

dezordine dă fiecărei părţi a sferei fizionomia sa, şi tocmai aceasta permite identificarea tuturor stelelor fără greutate, cu toată poziţia lor variabilă în raport cu observatorul nocturn. Dar mai există un fapt straniu, şi anume : nici un aranjament sistematic şi regulat al stelelor sau al constelaţiilor nu permite să se distingă pe sferă un punct, un cerc, o zonă, un sector remarcabil. La fel, pete mici de mărimi şi culori diferite, răspîndite la întîmplare pe o foaie de hîrtie vor schiţa poate constelaţii, dar nu vor trasa o curbă, nu vor separa dreapta de stînga, centrul de periferie. Pentru a repera geometric aştrii, astronomia se serveşte de poli şi de ecuator, care nu depind decît de rotaţia aparentă a sferei şi nu corespund nici unei particularităţi a structurii acesteia.

Fără a fi absolut izotropă, din cauza diversităţii populaţiei sale stelare, sfera vizibilă nu prezintă totuşi nici o veritabilă anizotropie, în afară de cea pe care i-o conferă tocmai Calea Lactee care conturează net şi permanent un cerc mare, pe o zonă îngustă.

Or, depăşind aparenţa lăptoasă a Galaxiei, organizînd în profunzime cîmpul imaginii cosmice, astronomia stelară, de la Galilei — şi mai ales de la Herschel — la Kapteyn şi Shapley, transformase anizotropia vizibilă prezentată de Galaxie într-un fapt cosmic fundamental, reducînd dimpotrivă la rang de simplă aparenţă locală relativa izotropie a sferei stelelor vizibile. Graţie faimoasei sale lunete, Galilei văzuse primul Calea Lactee descompunîndu-se în miriade de stele. Herschel, un secol şi jumătate mai tîrziu, întreprinsese sondarea sistematică a ameţitoarei profunzimi a lumii stelare. Marile telescoape, fotografia, puternicele metode ale analizei statistice de care dispuneau astronomii la începutul secolului al XX-lea aduseseră, către 1920, dovada că Galaxia este un imens roi de stele (numărul lor este estimat la o mie de miliarde)[1], de forma unui disc mai aplatizat la margine decît la centru, din care face parte şi Soarele, ocupînd un loc oarecare, sensibil mai îndepărtat de centru decît de periferie, periferie delimitată dealtfel aproximativ. Universul stelar îşi pierduse deci acea sfericitate pe care tradiţia, pe baza aparenţelor imediate, i-o atribuise şi, odată cu ea, simplitatea sa geometrică şi raţională.

Pentru filozofia naturii general admisă la 1900, Universul nu putea fi identificat cu spaţiul nici spaţiul cu altceva decît cu spaţiul lui Euclid, Newton şi Kant, infinit în cele trei dimensiuni ale sale şi înzestrat cu o structură metrică imuabilă, independentă de conţinutul său. Or, lumea stelară, oricît de imensă ar fi fost ea,

---

[1] Mai exact, se consideră că numărul stelelor din Galaxie este de ordinul a 150 de miliarde. — *N.T.*

nu ocupa decît un domeniu, ale cărui limite astronomia le cunoștea de acum. Insulă solitară în infinit? Insulă printre alte insule?

Lactee soră luminoasă
Cu gîrlele din Canaan
Cu pielea albă de mireasă
Morți valul tău într-un elan
Suim spre altă nebuloasă...[1]

Poate că Apollinaire deținea de la vreun astronom această imagine care dă o amploare cosmică tristei derive a celui „neiubit". În 1909, în orice caz, răspunsul nu fusese obținut sub cupolele grele ale observatoarelor; dar presupunerea că nebuloasele, cel puțin cele spirale, erau în realitate alte galaxii devenea insistentă; ipoteza intra astfel, sau reintra, în domeniul discuțiilor tehnice dintre astronomi.

Această veche ipoteză, propusă încă de Kant, fusese reînviată la sfîrșitul secolului de ansamblul progreselor de observație și mai ales de descoperirea unei supernove în marea spirală din Andromeda, M.31, binecunoscută tuturor acelora care posedă cît de cît cunoștințe de astronomie, singura dintre spirale vizibilă (destul de dificil) cu ochiul liber. Din acest moment, dezbaterea nu va înceta să se desfășoare și să se amplifice. Căci, dacă ipoteza „universurilor-insule" găsea printre astronomi apărători convinși ca Lundmark și Curtis, ea avea și adversari hotărîți, ca Shapley, care în 1920, considera încă toate nebuloasele ca obiecte aparținînd Galaxiei, ale cărei dimensiuni fuseseră considerabil lărgite de observațiile sale.

Ne putem face o idee asupra confuziei care domnea în privința acestui subiect în primii douăzeci de ani ai secolului, remarcînd că astronomul suedez Charlier propusese în 1908 un model de univers (de fapt prima construcție teoretică ce merită acest nume) bazat pe ipoteza dublă că: 1) spiralele observate sînt probabil interioare Galaxiei și nu alte galaxii; 2) Universul este totuși format din sisteme scufundate unul în altul, un sistem de ordinul n avînd drept elemente sisteme de ordinul $n-1$: stele, galaxii, galaxii de galaxii... Charlier afirma deci existența universurilor-insule, îndoindu-se totodată că acestea ar putea fi efectiv observate[2].

---

[1] G. APOLLINAIRE, *Scrieri alese*, Ed. Univers, București, 1971, p. 37.

[2] C.V.L. CHARLIER, *Wie eine unendliche Welt aufgebaut sein kann*, Arkiv för Mathematik, Astronomi och Fysik, 4, *24*, 1908.

Edwin Powell Hubble, un nou venit în lumea astronomilor, a fost acela care, avînd norocul de a putea dispune, la Mount Wilson, de cel mai mare telescop construit pînă la acea dată, a putut aduce la capătul unor cercetări îndelungate și perseverente, dovada de necontestat care era așteptată de douăzeci de ani. Spre sfîrșitul anului 1923, el a identificat pe o serie de fotografii ale spiralei din Andromeda, după sute de imagini sugestive dar insuficient de convingătoare, imaginea sigură a unei stele de tip binecunoscut în Galaxie și în Norii lui Magellan : o gigantă din clasa cepheidelor, stele cu variații periodice foarte regulate ale strălucirii și a căror perioadă indică cu mare precizie luminozitatea intrinsecă. Această stea de magnitudine absolută[1] egală cu —4, redusă din cauza distanței la magnitudinea +18, se găsea desigur la mai multe sute de mii de ani-lumină de Soare: marea spirală din Andromeda și cu atît mai mult toate celelalte, mult mai mici în aparență, erau definitiv aruncate în afara frontierelor Galaxiei. Începea răvășirea decorului cosmic, iar privirii i se deschidea „regatul nebuloaselor"[2].

Se spune că Herschel, dotat cu o vedere excepțional de pătrunzătoare și capabil să-și construiască cu mîinile sale cel mai bun telescop al timpului, jurase că a văzut pe bolta cerească ceea ce încă nici un om nu văzuse pînă atunci ; ceea ce a urmat a dovedit că nu vorbise în van. Dar Hubble putea să constate în 1923, că aproape totul rămînea sub semnul întrebării. Cercetările sale au continuat fără întrerupere pînă la moarte, în 1953. Principalii astronomi asociați cercetărilor sale au fost mai întîi Slipher, care îi urmase în 1916 lui Lowell la conducerea Observatorului din Flagstaff (Arizona) și care a rămas pînă în 1928 singurul specialist al lui Hubble în spectrograme de galaxii și în măsurători ale vitezelor lor radiale ; apoi ștafeta a fost preluată cu un nou spectrograf, la Mount Wilson, de Humason, după ce acesta ocupase un post modest în acest observator. Telescopul Hooker, cu deschiderea de 2,54 metri, a fost mult timp principalul instrument al lui Hubble, care, la sfîrșitul vieții sale a putut dispune de marile instrumente de la Mount Palomar, telescopul Hale de 5 metri deschidere și telescopul de tip Schmidt cu cîmp mare și deschiderea de 1,20 metri.

Oricîte obiecții s-au putut aduce metodelor sale, ba chiar concepției sale, succesul dovedește că Hubble era omul potrivit în acel loc remarcabil. Nu numai prin acea elegantă stăpînire de sine,

---

[1] Vezi cap. XI.

[2] Aluzie la cartea lui E.P. HUBBLE, *The Realm of the Nebulae*, Oxford, 1936. — *N.R.*

prin acea siguranță liniștită și fără emfază care emană din toate paginile unei cărți pe drept cuvînt celebre[1], dar și printr-o adeziune fără rezerve, activă pînă la detaliu, la postulatul uniformității și al regularității, ba chiar al simplității existențelor cosmice. Fără această riguroasă disciplină a gîndirii, fără aceste norme stricte de clasificare și măsurare (la orice scară și în orice domeniu, un obiect mediu tipic — stea, galaxie, roi de galaxii — este postulat, cercetat, etalonat, apoi plasat ca jalon pe drumul care duce pînă la frontierele vizibilului), ar fi putut oare Hubble, într-o jumătate de viață omenească, ajutat de o mînă de astronomi, să pună măcar piciorul în acest imens regat, ale cărui hotare erau doar ghicite?

Metodele sale au fost serios contestate și marea lui operă conține erori serioase, datorate în parte unei încrederi excesive în docilitatea naturii față de legile rațiunii și față de evaluările astronomiei. Dar ceea ce este minunat este că în esență Hubble a reușit, că înfățișarea Universului pe care el a conturat-o treptat este încă, și fără îndoială pentru mult timp, cea pe care o vedem de fapt.

Pînă la un anumit punct această înfățișare este „clasică"; ea este conform așteptărilor tuturor acelora care, atașați postulatului Universului omogen și cu simetrie sferică, cum l-ar fi vrut Giordano Bruno, nu erau satisfăcuți de imperfecta simetrie a ansamblului stelar. Ceea ce dovedeau de fapt cercetările lui Hubble era că:

1) Obiectul „galaxie" poate fi considerat în mod rezonabil drept unitatea cosmică, agregatul elementar de materie-energie și că Universul observat este identificabil cu sistemul galaxiilor.

2) Acest sistem prezintă pe sfera cerească aparențe izotrope.

3) Acest sistem este uniform distribuit în spațiu, este pretutindeni identic cu sine însuși, nu are centru, sau mai curînd, așa cum pretindeau Nicolaus Cusanus și Blaise Pascal, că centrul său este pretutindeni și circumferința nicăieri[2], și că omul ocupă o poziție oarecare, echivalentă cu oricare alta.

4) Omogeneitatea geometrică nu exclude o mare diversitate, observabilă în formele și dimensiunile galaxiilor, în conținutul lor stelar, sau, mai general, în conținutul lor material. Dar, sub această diversitate, se poate conchide în mod rezonabil existența unei omogeneități calitative de un înalt grad, mai ales la nivelul speciilor atomice, pretutindeni aceleași după cît se pare, și printre care cea mai simplă, hidrogenul, predomină net.

---

[1] E.P. HUBBLE, *op. cit.*

[2] Aceasta nu implică în mod necesar că el este infinit. Vezi mai departe, p. 49.

Pînă la acest punct deci, descoperirea Universului metagalactic lua mai curînd sensul restaurării unei viziuni cosmice vremelnic tulburată, sau lăsată în umbră de explorarea Universului stelar.

Dar descoperirea regatului nebuloaselor îi rezerva totodată lui Hubble cea mai mare surpriză pe care contemplarea Universului o produsese vreodată acestui bătrîn astronom care este *homo sapiens*; căci:

5) Sistemul galaxiilor prezintă aparenţa unei expansiuni uniforme şi izotrope care, într-o primă aproximaţie, este guvernată de o lege extrem de simplă : fiecare galaxie pare că se îndepărtează de Pămînt cu o viteză proporţională cu distanţa. Cel puţin aceasta pare a fi indicaţia dată de proprietăţile spectroscopice ale luminii provenite de la galaxii.

Nimic din tot trecutul astronomiei sau din contextul fizicii clasice nu permitea să se prevadă un fenomen de acest tip şi de o asemenea amploare; totul, dimpotrivă, conducea la negarea lui; existenţa acestui fenomen, confirmarea sa în pofida a orice şi interpretarea sa teoretică, caracterizează una din temele dominante ale cosmologiei moderne şi, în consecinţă, ale acestei lucrări.

Istoricul acestei descoperiri este el însuşi o dovadă a extraordinarei miopii pe care o filozofie milenară a naturii o poate provoca privirilor celor mai pătrunzătoare, spiritelor celor mai clarvăzătoare; a măsurii în care postulatul permanenţei fundamentale a Cosmosului, al persistenţei formei sale dincolo de agitaţia locală, era încă activ în gîndirea fizică a unei epoci în care toate postulatele clasice păreau că se prăbuşesc.

Dacă, prin absurd, ar fi existat în secolul al XX-lea un autor comic care să izbutească să trateze ştiinţa cu aceeaşi dezinvoltură cu care Aristofan îl trata pe Socrate, descoperirea deplasării spectrului nebuloaselor spre roşu (*red-shift*)[1] i-ar putea furniza materialul unui scheci cu tema : Cum face un astronom să nu vadă ceea ce descoperă?

Neştiind încă dacă nebuloasele spirale erau situate sau nu în afara Galaxiei, astronomia, cu tradiţionala sa fidelitate pentru aparenţe, începuse de multă vreme studiul descriptiv al acestora. Aplicarea procedeului spectroscopic pentru măsurarea vitezelor lor radiale — procedeu deja clasic la începutul secolului în astronomia stelară — era o acţiune delicată din punct de vedere tehnic, dat fiind faptul că imaginile nebuloaselor nu sînt punctuale. Totuşi, în 1912, obstacolul a fost depăşit şi Slipher a putut să comu-

---

[1] Deseori se foloseşte termenul englez *red-shift* pentru deplasarea spre roşu a liniilor spectrale. — *N.T.*

nice pentru nebuloasa din Andromeda (din nou ea) o deplasare spectrală spre *violet* corespunzătoare unei viteze de *apropiere* de trei sute de kilometri pe secundă. În 1914 fuseseră măsurate treisprezece viteze radiale, în 1921 numărul lor ajunsese la douăzeci și nouă. Or, pe măsură ce rezultatele se acumulau, se vedea cum deplasările spectrale spre *roșu* (indicînd *o îndepărtare*) predominau din ce în ce mai mult asupra deplasărilor spre *violet* și deveneau din ce în ce mai mari în valoare absolută.

Acest fapt se explică foarte simplu : primele măsurători se refereau la galaxiile cele mai apropiate ; or, în vecinătatea Galaxiei expansiunea relativă este slabă și efectul său este mascat de mișcări locale diverse și întîmplătoare (mai ales rotația Galaxiei care, la acea dată, nu era încă cunoscută) ; extinse la galaxii din ce în ce mai îndepărtate observațiile găseau mișcări de expansiune din ce în ce mai mari, ajungînd să depășească complet în cele din urmă mișcările locale, care nu depășesc cîteva sute de kilometri pe secundă.

Dar totul, la acea epocă — și mai ales precedentul astronomiei stelare — contribuia la ascunderea a ceea ce trebuia înțeles. Într-adevăr, unul din marile succese ale acestei științe fusese determinarea din ce în ce mai precisă, prin măsurători totdeauna convergente, a *apex*-ului, adică a punctului de pe sfera cerească care indică direcția de mișcare a Soarelui în raport cu mediul stelar înconjurător. Într-adevăr, dacă se presupune că mișcările relative ale aștrilor care compun acest mediu înconjurător se compensează și se anulează reciproc, altfel spus că acest mediu înconjurător este în medie în repaus, din măsurătorile vitezelor radiale făcute de către observatorul terestru va apărea un reziduu care va fi opusul vitezei proprii a Soarelui în raport cu mediul înconjurător considerat în ansamblul său ; ne putem aștepta ca mărind numărul de măsurători, determinarea acestei mărimi să devină din ce în ce mai precisă, fără să apară vreo variație sistematică a rezultatelor ; or tocmai acest fapt se constată.

Deci cu ipoteza naturală, dar în speță cu totul inadecvată, a unui repaus mediu al nebuloaselor, încercau astronomii din deceniul al treilea, conduși de analogia înșelătoare între lumea galactică și lumea metagalactică, să interpreteze distribuția vitezelor nebuloaselor. Renunțarea la această analogie și la această ipoteză era cu atît mai dificilă pentru ei, cu cît acestea erau de fapt asociate postulatului mai profund și mai implicit, al unui repaus și a unei persistențe cosmice fundamentale. Wirtz a fost primul care, în 1918, a bănuit existența unui efect sistematic, pe care a fost tentat să-l evalueze numeric, fără a-i căuta cauza și fără a renunța

la analogia stelară. Astfel, fenomenul cel mai grandios al cerului a apărut, în calculele astronomilor, mai întîi în negativ, ca să spunem așa, ca un efect stînjenitor pe care-l măsori pentru a te debarasa mai ușor de el. (Tot așa Messier, cu mai bine de un secol înainte, întocmise catalogul care urma să servească drept bază explorării Universului metagalactic. . .pentru a permite căutătorilor de comete să evite confuziile).

Cîțiva ani mai tîrziu, Wirtz a înțeles la rîndul său, după Eddington[1] și Weyl[2], adevăratul sens al deplasării spre roșu a nebuloaselor, ca un efect care crește cu distanța și căruia teoria relativității avea să-i dea explicația. Dar împrejurările nu i-au fost favorabile ; neavînd după cît se pare cunoștință de memoriul lui Friedman din 1922, el a încercat, ca și Eddington, să explice deplasarea spre roșu prin cosmologia lui de Sitter ; dar la acea dată structura acestui model de univers era încă destul de obscură. Numai Weyl o înțelesese perfect, fără a se face la rîndul lui înțeles, iar lui Wirtz îi lipsea tocmai ceea ce Hubble era pe cale de a construi : o scară a distanțelor extragalactice. Eforturile sale n-au ajuns la nici un rezultat în cele din urmă și observatorii au devansat teoria.

La Mount Wilson, Hubble și Humason au lucrat încă cinci ani, primul la etalonarea distanțelor intergalactice, al doilea la măsurarea vitezelor radiale. În 1929, pe baza a patruzeci și șase de viteze radiale și optsprezece distanțe măsurate, ei au publicat relația dintre viteză și distanță care le poartă numele: problema expansiunii Universului era pusă de către astronomia de observație. La aceeași dată, Robertson încheia clarificarea principiilor cosmologiei relativiste.

Chiar și într-o perspectivă panoramică așa cum este cea de față, fiecare din cele cinci puncte ale tabloului nostru cosmic cere cel puțin cîteva comentarii și impune unele rezerve. Punctul 2 — izotropia lumii metagalactice — este probabil cel mai sigur, în orice caz cel al cărui sens este cel mai clar și cel mai direct traductibil în date de observație. Trebuie să evităm totuși cîteva neînțelegeri : de fapt, înainte de toate, distribuția galaxiilor pe bolta cerească nu este izotropă ; se observă mult mai puține galaxii la latitudini galactice joase, adică în planul Căii Lactee și în vecinătatea sa. Dar, evident, aceasta se datorește particularităților „locale“ ale observatorului terestru. Fiind situat în interiorul Galaxiei, această formațiune care nu este izotropă îi maschează în parte „lumea exterioară”, pentru că ea conține în spațiul interstelar,

---

[1] *Mathematical Theory of Relativity*, Cambridge, 1923, ed. a V-a, 1954, p. 162.
[2] Vezi mai departe p. 59.

o materie difuză mai mult sau mai puţin densă care absoarbe în parte lumina de provenienţă îndepărtată.

Lăsînd la o parte această anizotropie de circumstanţă, a cărei interpretare nu a produs niciodată vreo obiecţie, observaţia metagalactică nu a evidenţiat pînă acum nici o direcţie, regiune sau arie remarcabilă prin particularităţile populării sale în galaxii. S-a crezut de mai multe ori că s-au detectat diferenţe semnificative între o regiune întinsă şi alta, dar diferenţa nu a fost niciodată confirmată dincolo de o anumită magnitudine. Dacă anumite regiuni de pe bolta cerească sînt mai bogate în galaxii, aceasta se datoreşte prezenţei unor mari roiuri „apropiate" care reprezintă oarecum în lumea nebuloaselor ceea ce reprezintă Pleiadele sau Părul Berenicei în lumea stelelor.

Pe de altă parte, distribuţia galaxiilor este departe de a fi strict uniformă. Pe clişeele obţinute cu ajutorul marilor telescoape, galaxiile sînt observate de obicei grupate în roiuri. Hubble credea că aceste roiuri se detaşează pe fondul uniform al „cîmpului general". Metodele recente de numărare, mai eficace, aplicate unor date de observaţie mai bogate arată că gruparea în roiuri este un fenomen atît de obişnuit încît ajungem să ne îndoim chiar de existenţa unui „cîmp general"[1]. Dar aceste neregularităţi nu se încadrează în nici un efect sistematic. De mai multe ori a fost propusă ipoteza că ar putea exista roiuri de roiuri, grupări de galaxii de ordin superior. Pînă acum numărătorile nu au oferit nici o bază statistică acestei presupuneri. După patruzeci de ani de explorare a Universului metagalactic, izotropia aparenţelor sistemului de galaxii poate fi considerată ca un fapt stabilit.

Generalitatea grupării galaxiilor în roiuri ne-ar putea face să ne îndoim de punctul 1, care face din galaxie un fel de atom cosmic. Fireşte, nimeni nu se îndoieşte (ţinînd cont de anumite efecte posibile de ecranare locală cauzată de către o materie intergalactică, fireşte foarte rarefiată, dar în mod sigur prezentă) că roiurile de galaxii sînt grupări fizice şi nu simple aparenţe. Dimensiunile lor sînt însă foarte diferite şi coerenţa lor este şi mai puţin sigură. Unii văd în ele structuri cu echilibru stabil, iar alţii forme dinamice instabile, pe cale de dispersare rapidă în unele cazuri.

---

[1] Aceasta a fost concluzia cea mai netă şi cea mai surprinzătoare a primei dintre marile numărători de galaxii întreprinse după moartea lui Hubble, pe o colecţie de clişee a Observatorului Lick. C.D. SHANE, C.A. WIRTANEN, *The Distribution of Extragalactic Nebulae*, Astronomical Journal, 59, *8*, 1954, pp. 285—304. Cercetările ulterioare, cu telescopul Schmidt de la Mount Palomar, au confirmat această concluzie.

În schimb, observaţia locală dovedeşte indiscutabil că galaxiile sînt unităţi fizice bine delimitate, structurate interior de forţele fizice cunoscute, electromagnetice şi mecanice. A face din galaxie obiectul cosmic de bază, este deci cel puţin o ipoteză de lucru rezonabilă, cu toate că fără îndoială, obiectul galaxie nu poate fi definit chiar atît de strict cum credea Hubble în ceea ce priveşte dimensiunile, masa, strălucirea sa, şi cu toate că el suferă probabil un proces de evoluţie relativ rapid.

De la punctul 2 se trece într-un mod destul de natural la punctul 3, omogeneitatea în spaţiu a sistemului de galaxii. Aceasta nu înseamnă că o distribuţie eterogenă de materie nu poate să se prezinte sub aparenţe izotrope. Ar fi posibil ca densitatea galaxiilor să scadă sau să crească în jurul observatorului terestru prin straturi sferice succesive, dar atunci ar trebui să i se confere acestui observator o poziţie unică, centrală, ceea ce repugnă gîndirii ştiinţifice moderne, care consideră pe bună dreptate antropocentrismul ca o ipoteză naivă şi arbitrară, proiecţie asupra Universului a egocentrismului infantil sau delirant. Odată înlăturată lumea sferică a anticilor, izotropia aparenţelor cereşti pe care omul o vede — aşa cum au înţeles-o sau au presimţit-o Nicolaus Cusanus şi Giordano Bruno — implică omogeneitatea conţinutului spaţiului, care la rîndul său antrenează izotropia aparenţelor pentru *orice observator*. Acest triplu caracter al Cosmosului este postulat de către cosmologia teoretică modernă, pe baza astronomiei marilor distanţe, sub numele de *principiul cosmologic*.

Noţiunea de omogeneitate este aparent simplă, chiar evidentă, dacă este luată în sens geometric : o distribuţie de materie-energie va fi numită omogenă dacă o unitate de volum aleasă oriunde în spaţiu conţine totdeauna aceeaşi cantitate. Totuşi, fără să anticipăm ceea ce vom spune la examinarea teoriilor cosmologice, cîteva comentarii asupra sensului şi semnificaţiei punctului 3 sînt chiar de pe acum indispensabile, căci simplitatea conceptului de omogeneitate nu este decît aparentă. Acestui concept îi sînt implicate diferite probleme teoretice şi noi nu o vom evoca pentru moment decît pe cea mai importantă : definiţia omogeneităţii Universului este inseparabilă de o ipoteză asupra timpului, căci cosmologia nu poate gîndi Universul decît în *spaţiu-timp* pentru o mulţime de motive şi mai întîi pentru acela, incontestabil, că astronomia modernă îl *vede* în spaţiu-timp şi nu în spaţiu (lumina care ne parvine de la galaxiile cele mai îndepărtate le-a părăsit de mai multe miliarde de ani).

Pe de altă parte, punctul 3 nu poate conta decît ca o aproximaţie, căreia este important să-i specificăm, chiar grosier, ordinul de

mărime. Observaţia „locală", aceea asupra Galaxiei şi asupra galaxiilor apropiate, ale căror detalii de structură pot fi cunoscute în mod satisfăcător, constată o distribuţie a materiei extrem de neregulată : nu numai că există un contrast frapant între densităţile mari ale stelelor şi starea de rarefiere a materiei interstelare (atît de puţin densă încît existenţa ei a rămas în stadiul de ipoteză pînă în secolul al XX-lea), dar acest contrast se regăseşte şi la o altă scară, între relativa condensare a materiei în interiorul galaxiilor, şi vidul cvasiabsolut al spaţiilor intergalactice ; existenţa roiurilor de galaxii arată că eterogeneitatea se regăseşte la o scară încă şi mai mare. Dacă există o scară a omogeneităţii, ea este deci enormă[1].

Totuşi, cea mai mare parte a cosmologilor sînt dispuşi să admită postulatul omogeneităţii, pentru că, deşi o ipoteză poate grosieră, ea nu este, după cît se pare, complet falsă ; pentru a-l înlătura ar fi necesară dovada unei dispuneri sistematice a neregularităţilor, lucru pe care nimic nu-l indică în starea actuală a observaţiilor care, dimpotrivă, aşa cum s-a spus, sugerează ideea unor fluctuaţii foarte mari de densitate, repartizate însă în mod întîmplător.

Punctul 4, referitor la omogeneitatea *calitativă* a Universului fizic, nu poate fi exprimat decît foarte vag şi de aceea poate suscita mai multe obiecţii. Iată cum ar putea fi precizat şi justificat : prin omogeneitate calitativă vom înţelege uniformitatea conţinutului de materie-energie, a structurilor nucleare, chimice, stelare galactice, ca şi cea a secvenţelor şi proceselor evolutive. Spune oare observaţia ceva net şi univoc în legătură cu aceasta? Răspunsul desigur nu este atît de uşor ca în cazul omogeneităţii geometrice şi privirii i se oferă contraste uimitoare, pe măsură ce devine mai pătrunzătoare.

Pe de o parte, este neîndoielnic că progresele instrumentelor astronomice nu duc numai la îmbogăţirea numerică a tabloului cosmic, dar fac ca în cîmpul vizibilului să apară fără încetare obiecte de tip nou, stele gigante sau stele foarte mici, foarte fierbinţi sau foarte reci, hiperdense sau incredibil de rarefiate, aştri variabili ale căror capricii sfidează orice descriere ordonată, nori cosmici de toate mărimile şi de toate compoziţiile ; în ceea ce priveşte morfologia galaxiilor, clasificarea trebuie îmbunătăţită fără încetare. Pe de altă parte, dinamica, în sens larg, a lumii astronomice se dove-

---

[1] Diametrul celor mai apropiate roiuri mari de galaxii este de ordinul a 20 de milioane de ani-lumină, în timp ce Pămîntul se află situat la o distanţă de opt minute-lumină de Soare, iar Soarele la douăzeci sau douăzeci şi cinci de mii de ani-lumină de centrul Galaxiei.



deşte de o extraordinară varietate. Astrofizica nu este numai aplicarea la studiul aştrilor a fizicii cunoscute; este vorba aici, evident, de o altă fizică, în care legile fundamentale se aplică în condiţii complet diferite de cele existente în laborator. Exemplul cel mai izbitor este cel al *plasmei*, marea descoperire a astrofizicii contemporane. Aceste fluide abundă în Univers; datorită ionizării, proprietăţile lor sînt atît de diferite de cele ale fluidelor a căror structură şi mişcare este descrisă, nu fără dificultăţi, de către hidrodinamica clasică, încît este necesară construirea unei teorii noi pentru a explica fenomene care se produc sau îşi au sursa în această plasmă, cum sînt radiaţiile cosmice sau emisiunile radioelectrice, şi care sînt încă departe de a fi cunoscute şi înţelese în întregime. Oricît de sprintenă ar fi imaginaţia astrofizicienilor şi de pătrunzătoare matematica lor, sute de enigme îşi aşteaptă rezolvarea: stadiile ultime ale evoluţiei stelare, originea formei atît de cunoscute şi atît de puţin explicate a nebuloaselor spirale, adevărata structură a nucleelor galactice, în care se bănuiesc fenomene grandioase care urmează a fi descrise şi înţelese. Atîtea necunoscute ne fac să credem că încă nici pe departe nu s-au descoperit toate modurile de combinare a materiei cu ea însăşi, că, după cunoscuta expresie a lui Pascal, imaginaţia oboseşte mai curînd de a concepe decît natura de a furniza. Aparenta omogeneitate a Universului n-ar fi deci decît o consecinţă a miopiei noastre?

Un răspuns afirmativ ar fi hazardat. Căci teza omogeneităţii calitative îşi găseşte în mare măsură justificarea în tabloul aparenţelor cosmice. Dacă este efectiv imposibil să ştim ce fel de existenţe, şi în ce mod constituite, se ascund într-o galaxie îndepărtată, este în orice caz plauzibil să presupunem că în esenţă şi în cea mai mare parte, ele sînt asemănătoare celor pe care le cunoaştem sau care ne sînt în mod virtual accesibile în vecinătatea noastră; la aceasta conduce un lanţ de extrapolări succesive ale cărui extremităţi par foarte îndepărtate, fiecare verigă fiind însă solid legată de precedenta.

Astfel, după multe erori celebre, lucrurile sînt acum clare: nici în Soare, nici în nenumăratele stele din jurul său care îi seamănă sau nu îi seamănă, nu se află alţi atomi decît cei găsiţi pe Pămînt. Heliul nu îşi merită numele: îl respirăm; nebuliul nu era decît un miraj, nimic altceva decît oxigen care radiază într-un anumit mod, „interzis", în laborator, dar posibil în Univers; coroniul din coroana solară este un complex de atomi metalici. Nouăzeci şi doi de atomi, două sute treizeci şi opt socotind şi izotopii, totul disociabil într-un mic număr de particule elementare stabile, pe care se bazează procesele nucleare cele mai complicate şi mai

violente, reprezintă în cele din urmă destul de puțin pentru a popula chiar și numai cele o sută cincizeci de miliarde de stele care formează Galaxia noastră.

Ce-i drept, Galaxia noastră reprezintă puțin în comparație cu Universul; dar fără îndoială compoziția stelară a galaxiilor „apropiate", și cu atît mai mult compoziția lor atomică, diferă puțin, sau deloc, de cea a Galaxiei; din aproape în aproape, această asemănare este însoțită de datele constante ale analizei fotometrice și spectrale; deși imprecizia acesteia crește cu distanța, analiza lasă totuși intacte anumite trăsături vizibile, pînă la limita extremă. Astfel, celebrele linii H și K ale lui Fraunhofer, atît de nete în spectrul solar, sau linia de emisie 3727 Å a oxigenului, a cărei origine atomică este perfect cunoscută, și care servesc pentru măsurarea *deplasării spre roșu* a galaxiilor îndepărtate atestă că, cu toată inepuizabila varietate a naturii, cel puțin elementele calciu și oxigen înrudesc modestele noastre oase cu acești sori foarte îndepărtați. Între ei și noi, astronomia n-a găsit însă nici un loc despre care să poată spune: de aici începe o altă materie.

Noțiunea de *abundență cosmică*[1] a elementelor trebuie deci luată în sens deplin. La prima vedere pare să fie vorba mai ales de o convenție: definirea unui amestec ideal, în care, plecînd de la o observație foarte limitată ca întindere, fiecăruia din elementele atomice îi este atribuită o proporție definită. Pămîntul, meteoriții, planetele, Soarele, norii interstelari apropiați sînt dovezi neconcludente și puțin reprezentative pentru a justifica cuvîntul „cosmic". Totuși, deși ridică rezerve și îndoieli, acest concept în cele din urmă nu este contestat în esența sa. Nimeni nu consideră ca simplu efect al unui hazard local aspectul curbei abundențelor și detaliile sale caracteristice. Or, o trăsătură deosebită a acestui tablou se impune de la prima vedere: extraordinara preponderență a hidrogenului, care reprezintă singur, ca masă, mai mult de optzeci la sută din „amestecul cosmic". Or hidrogenul este, așa cum știe oricine, elementul numărul unu al clasificării periodice.

Este adevărat că punctul de vedere al compoziției chimice nu este singurul sub care poate fi abordată problema și că s-ar putea găsi și altele care ar fi mai puțin favorabile tezei uniformității. Dar concluziile nu ar fi chiar atît de diferite dacă s-ar alege de exemplu, ca criteriu al omogeneității, compoziția stelară a galaxiilor. Ținînd seama de tipurile de populații pe care le distinge astrofizica, însăși coerența conceptelor și rezultatelor astronomiei mari-

---

1 A. DAUVILLIER, *Cosmologie et Chimie*, P.U.F., Paris, 1956, pp. 27—132.

lor distanțe (această coerență de care Hubble era atît de mîndru) este suficientă ca dovadă a unui înalt grad de omogeneitate.

Rezultă că teza omogeneității pare să se adeverească la un nivel oarecum superior, diversitatea fiind locală, ceea ce răstoarnă ordinea valorilor general admisă la scara fenomenelor umane, unde originalitatea în natură este inseparabil legată de diferențiere.

Aceasta nu înseamnă că astronomii și astrofizicienii nu sînt, la rîndul lor, seduși și fascinați, asemenea entomologilor și etnologilor, de surprizele diversității, că nu simt plictisul uniformității, aspectul searbăd al Universului omogeneizat, *smoothed out*[1]. Însăși Robertson o mărturisește, Robertson care a dus teoria Universului uniform la perfecțiunea sa matematică și conceptuală. Ipotezele cosmologiei, constată el, cu o nuanță de umor melancolic, privează bolta cerească de ceea ce reprezintă farmecul său atît pentru astronom cît și pentru poet[2].

Există totuși în postulatul uniformității un adevăr de ordin superior, într-un sens pe care îl vom înțelege poate mai bine folosind o analogie împrumutată de la Eddington, care, într-un alt context, a folosit-o din plin. În ochii alpinistului și ai iubitorului de peisaje, Pămîntul nu este o figură geometrică simplă și regulată ; dacă ar fi astfel și-ar pierde în ochii lor tot farmecul său caracteristic. Dar *elipsoidul*, Pămîntul uniformizat, devine mai puțin ireal și neinteresant pentru geograf și navigator, al căror interes se împarte între proprietățile globale ale planetei și detaliile suprafeței sale. În sfîrșit, pentru astronomi, Pămîntul nu mai *este* nimic altceva decît un *elipsoid*. Or, cel mai mărunt dintre fenomenele terestre poate fi determinat uneori, în parte sau chiar în totalitate, de proprietățile Pămîntului simplificat, care devin, în această perspectivă, mai reale decît cele ale Pămîntului real. Tot astfel și cu Cosmosul, deși, firește, nu trebuie să fim încrezători în orice analogie, cu atît mai mult în cele care merg de la parte spre întreg.

Vom reveni acum la punctul nostru 5, *deplasarea spre roșu a radiațiilor nebuloaselor*, punct care cere de aici înainte comentariile cele mai îngrijite și cele mai precise. Aici intervine, într-adevăr, *faptul* cel mai important pentru cosmologia modernă.

Anterior am exprimat acest fapt direct în termeni de *expansiune* pentru a-i reda dintr-o dată întreaga semnificație ; acum va trebui să folosim un limbaj mai precis și mai ponderat. Dincolo de o

---

[1] În limba engleză, în original — *netezit*. — *N.T.*

[2] *The Theoretical Aspects of the Nebular Red-shift*, Publ. of the Astr. Soc. of the Pacific, 67, 1955, p. 82.

anumită *magnitudine*, adică atunci cînd strălucirea lor aparentă devine destul de slabă, liniile identificabile din spectrul galaxiilor sînt toate decalate spre roşu, în raport cu cele ale surselor locale de referinţă. În afara faptului că se produce totdeauna în acelaşi sens, acest *red-shift*, cum spun cu comoditate autorii de limbă engleză, are anumite caracteristici remarcabile, care pot fi considerate ca bine stabilite.

Prin forma sa, deplasarea spre roşu este asemănătoare unui *efect Doppler*, adică decalajului spectral care rezultă din componenta radială a mişcării relative a sursei de lumină în raport cu observatorul; dacă λ este lungimea de undă şi $\Delta\lambda$ creşterea sa, raportul $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ este independent de λ şi nu depinde decît de sursă. Acest rezultat este bine stabilit pentru orice radiaţie optică a galaxiilor; lipseşte deocamdată dovada extinderii sale şi la spectrul radio; pînă în prezent, a fost într-adevăr imposibil să se identifice măcar o singură linie în spectrul de radiaţii al „radiosurselor presupuse îndepărtate[1].

b. Deplasarea spre roşu este izotropă: ea apare pentru toate galaxiile dincolo de o anumită magnitudine, nedepinzînd decît de aceasta; în particular, ea este independentă de poziţia obiectului considerat pe sfera cerească.

c. Deplasarea spre roşu este o funcţie crescătoare de magnitudinea aparentă, care la rîndul ei este o funcţie crescătoare de distanţă; deplasarea spre roşu este deci o funcţie crescătoare de distanţă. Determinarea exactă a acestei funcţii, pornind de la observaţii, este o problemă dificilă a cosmologiei empirice; dar, cu ajutorul cîtorva ipoteze plauzibile, ea poate fi aproximată printr-o relaţie deosebit de simplă şi de izbitoare. Presupunînd că: α) deplasarea spre roşu este de tip *efect Doppler* şi că formula clasică pentru acest efect este aplicabilă în primă aproximaţie, şi β) legea clasică care dă raportul între energia radiaţiei emise de o sursă şi energia primită de un receptor situat la o distanţă r este aplicabilă în acest caz, se obţine *legea lui Hubble*, conform căreia galaxiile îndepărtate sînt animate de o mişcare de îndepărtare a cărei viteză este proporţională cu distanţa lor.

Măsurătorile făcute de Hubble şi Humason, cu telescopul Hooker de la Mount Wilson, confirmaseră progresiv aceste rezul-

---

[1] Rezultatele lui Lilley şi McClain care credeau că au observat o deplasare spre roşu a liniei de 21 cm din radiaţia sursei Cygnus A — cea mai intensă sursă extragalactică — sînt atribuite în prezent unei erori instrumentale; cu radiotelescoapele aflate în funcţiune la ora actuală, linia de 21 cm nu poate fi observată de fapt în Cygnus A.

tate pînă la limita accesibilă acestui instrument; cu toate că estimarea lor în ceea ce privește coeficientul legii — „constanta lui Hubble" — este considerată acum ca eronată, datorită erorilor sistematice în racordarea scării distanțelor metagalactice la scara distanțelor locale, existența și forma relației au fost confirmate din plin de măsurătorile făcute la Mount Palomar, și nimic nu indică necesitatea revizuirii lor. Ținînd cont de gradul mare de incertitudine în ceea ce privește măsurătorile la scară cosmică, putem deci să le considerăm ca pe niște achiziții sigure.

Trebuie însă interpretată, într-adevăr, deplasarea spre roșu a galaxiilor ca un fenomen cinematic de tip *efect Doppler*? Această întrebare a suscitat multe controverse, pentru că ideea, prost înțeleasă, a expansiunii Universului a părut mult timp incredibilă sau suspectă unei opinii științifice care nu se obișnuia decît încetul cu încetul să admită principiile și rezultatele cele mai incontestabile ale teoriei relativității. În afară de aceasta, ideea expansiunii, așa cum ne vom convinge din ce în ce mai mult pe parcursul prezentei lucrări, lovea în prejudecăți chiar și mai profund înrădăcinate, și anume în acelea care decurg din concepția că atemporalitatea entităților logice trebuie în cele din urmă să se regăsească în natură, dacă vom merge destul de departe sau dacă vom coborî la un nivel destul de profund cu cercetarea. Întorcîndu-ne în timp, vedem mii de indicii că știința a trebuit să depășească în acest caz un „obstacol epistemologic" de mari proporții și că fără îndoială acest efort continuă încă. În acest sens, este suficient să notăm pentru moment nu numai înverșunarea neobișnuită împotriva ideii de expansiune a unor savanți de reputație mondială în specialitatea lor, ca F. Zwicky, dar, mai mult, rezerva chiar a descoperitorului deplasării spre roșu, marele Hubble, care, pe baza unor observații considerate astăzi insuficiente, a preferat în cele din urmă să înlăture interpretarea cinematică a deplasării spre roșu, oricît de problematice îi păreau alte interpretări.

Astăzi se poate spune că această controversă nu mai are decît un caracter istoric; ralierea oficială a științei sovietice, în persoana lui Ambarțumian, la ideea expansiunii sistemului de galaxii a fost, în 1958, semnul sigur că lucrurile erau clarificate; singura interpretare satisfăcătoare care se poate da, în stadiul actual al științei, deplasării spre roșu a nebuloaselor este de a o înțelege în cadrul teoriilor cosmologice[1], ca fiind un fenomen cinematic — poate ar fi mai bine să spunem geometric, căci nu este vorba de o

---

[1] Vezi Anexa, IV, ec. (45, 46, 47).

„mişcare" în sensul obişnuit, deci local, al cuvîntului (adversarii expansiunii au refuzat mult timp să înţeleagă acest lucru).

Stingerea controverselor şi ralierea generală la explicaţia geometrică şi structurală se explică prin două cauze: mai întîi, în ciuda încercărilor numeroase şi variate — la care au participat cei mai buni fizicieni — nu s-a reuşit să se găsească o altă explicaţie cu adevărat satisfăcătoare; toate cele care au fost propuse, fie că nu explică toate caracteristicile fenomenului observat, fie că prevăd în radiaţia stelelor efecte importante care nu au fost niciodată detectate. În al doilea rînd, însăşi dezvoltarea gîndirii cosmologice a făcut ca cercetările privind o soluţie de înlocuire să-şi piardă atracţia. Atracţia unei astfel de soluţii consta în aceea că se spera conservarea, datorită ei, a imaginii unui Univers static şi euclidian; dar pe măsură ce teoria cosmologică lua amploare şi-şi consolida principiile, devenea din ce în ce mai clar că ipoteza unui Univers static şi euclidian se dovedea restrictivă în mod excesiv, inutil şi arbitrar; de aici înainte încercarea de a interpreta cu complicaţii inutile, într-un Univers static, un efect care se deduce foarte simplu într-o clasă întreagă de universuri nestatice, riscă să apară tot atît de lipsită de sens ca încercarea unui astronom de a înţelege mişcarea planetei Pluto în sistemul lui Ptolemeu. De aceea, în 1950, Couderc judeca cu severitate încăpăţînarea celor care mai căutau încă, pentru deplasarea spre roşu, un *Ersatz*[1] de explicaţie; ceea ce a urmat pare a confirma justeţea unui verdict a cărui rigoare surprindea încă în acea perioadă[2].

Să ne reîntoarcem, pentru un moment, la istoria descoperirilor astronomice ale secolului al XX-lea pentru a constata încă o dată că, în vremea cînd viziunea cosmică îşi lua locul său, în condiţiile pe care le-am reamintit sumar, ea se preciza considerabil, datorită unei îmbogăţiri continue a cunoştinţelor „locale" şi unei lărgiri deosebite a domeniului de explorare considerat „local". Or, o mare parte a acestor achiziţii „infra cosmologice", dacă se poate spune aşa, au venit să confirme în mod remarcabil nu ipoteza uniformităţii, desigur, ci sentimentul *mobilităţii* esenţiale pe care deplasarea spre roşu a nebuloaselor îl suscită. Acest sentiment îl exprima Couderc cînd spunea că Universul, aşa cum a învăţat să-l vadă astronomia secolului al XX-lea „prezintă semnele unei

---

[1] În limba germană, în original — *surogat*. — *N.T.*

[2] „Vanitatea, sterilitatea eforturilor făcute de douăzeci de ani pentru combaterea recesiunii este caracteristica unei proaste discipline intelectuale. A căuta o interpretare ad-hoc, a dori să îndepărtezi un fenomen sugerat intens de observaţie, pentru că duce la concluzii « prea mari », este desigur contrar oricărei metodologii ştiinţifice adevărate"., *L'Expansion de l'Univers*, Paris, P.U.F., 1950, p. 86.

tinereţi exuberante"[1]. Aceste semne, împreună cu aparenta fugă a nebuloaselor, explică faptul că gîndirea cosmologică a fost oarecum fascinată de viitorul lumii şi că ea şi-a regăsit o vocaţie cosmogonică.

Pentru a ilustra această apariţie a unei dimensiuni istorice şi genetice în toate fenomenele cereşti, căreia dealtfel îi va fi consacrat un întreg capitol al cărţii, ne vom limita la două exemple simple şi deja clasice. Primul exemplu este exclusiv astronomic: descoperirea structurii cinematice a Galaxiei. Al doilea este de origine fizică şi are consecinţe astrofizice şi cosmogonice: demonstraţia teoretică şi experimentală a faptului că transmutaţiile nucleare sînt posibile — şi că ele sînt chiar banale în Soare şi în stele.

1. Am prezentat modul în care descoperirea fenomenului universal al deplasării spre roşu a apărut la început ca o negare a eşecului încercării de a reînnoi în lumea metagalactică rezultatul obţinut de Herschel în lumea stelară: determinarea unui *apex* al Galaxiei. Pînă la un anumit punct, descoperirea în aceeaşi vreme a rotaţiei diferenţiale a Galaxiei, iar mai tîrziu, cea a detaliilor structurii sale cinematice, oferă un exemplu analog, deşi mai puţin spectaculos, al acestei înaintări de-a-ndaratelea în necunoscut care-şi găseşte sensul abia la sfîrşit, cînd se observă că ipotezele iniţiale nu erau tocmai cele care ar fi trebuit să fie alese pentru a pune mai bine în evidenţă ceea ce se căuta[2].

Întreprinzînd, la începutul secolului, marile sale cercetări statistice asupra distribuţiei stelelor şi a mişcărilor lor, Kapteyn introdusese ipoteza unei distribuţii maxwelliene a vitezelor în vecinătatea Soarelui. Aceasta este expresia matematică clasică a ipotezei că agitaţia locală dezordonată defineşte, prin perfecta sa incoerenţă, un fel de *substratum* local de repaus. Adaptată lumii stelare, aceasta reprezenta expresia modernă şi statistică a postulatului permanenţei cosmice. Or, dacă aplicată unor stele suficient de apropiate, ipoteza este excelentă ca mijloc de determinare precisă a *apex*-ului (Herschel nu folosise decît şase stele...) dincolo de o anumită limită ea îşi dovedeşte propria inadecvare: odată eliminată viteza proprie a Soarelui, vitezele reziduale nu se distribuie în mod izotrop; apare o direcţie privilegiată — un *vertex* — de-a lungul căreia vitezele sînt mai dispersate; aceasta

[1] *Ibid.* p. 203.

[2] P. COUDERC, *L'Univers*, P.U.F., Paris, 1955, pp. 37—45.
F. NAHON, *Cinématique et Dinamique de la Galaxie*, în *L'Astronomie*, sub conducerea lui E. SCHATZMAN, *Encyclopédie de la Pléiade*, Gallimard, Paris, 1962, pp. 822—40.

a fost o surpriză pentru Kapteyn care a descoperit-o ; nu era decît prima dintr-un lung şir.

Timp de douăzeci de ani, analiza statistică a fost continuată, revelînd din ce în ce mai clar asimetria mişcărilor stelare, care şi-a găsit în cele din urmă o explicaţie satisfăcătoare în teoria rotaţiei diferenţiale a Galaxiei, desăvîrşită de Oort în 1927, a cărei interpretare dinamică a fost dată de Lindblad şi care, acum zece ani, a fost strălucit confirmată de observaţiile radioastronomice.

Roiurile stelare, ca şi norii de materie difuză, se rotesc deci în jurul centrului Galaxiei, dar cu viteze unghiulare diferite şi, ca şi planetele, cu atît mai lent cu cît sînt mai îndepărtate (cel puţin începînd de la o anumită distanţă de centru, pentru că nucleul se roteşte ca un corp solid). Or, această rotaţie de ansamblu şi forfecarea care rezultă din diferenţele de viteze exclud orice configuraţie de ansamblu stabilă ; după un timp relativ scurt (în vecinătatea Soarelui perioada de rotaţie este de cîteva sute de milioane de ani), orice structură diferenţiată trebuie în mod necesar să fie distrusă sau transformată ; dacă există una acum (Galaxia este o spirală), ea datează deci de puţin timp şi pentru puţin timp.

Tocmai acest fapt este confirmat de analiza mai recentă şi mai detaliată a mişcării grupurilor de stele : ea pune în evidenţă mişcări multiple şi haotice, dar nu uniformizate cum sînt acelea ale unui sistem care a putut rămîne coerent un timp suficient de lung pentru a atinge stabilitatea dezordinii cinematice perfecte (cum ar fi, de exemplu, un gaz perfect, menţinut un timp nelimitat la o temperatură constantă, într-o incintă imuabilă şi etanşă). Dimpotrivă, în Galaxie, sistemele formate fiecare din stele de acelaşi tip fizic şi pe cît se pare de aceeaşi vîrstă se întrepătrund, fiecare fiind parţial dispersat, dar rămînînd încă parţial coerent. Formulele statistice uzuale de formă gaussiană nu descriu decît imperfect o situaţie în mişcare, în legătură cu care nu pot da decît un „rezumat"[1]. Ele sînt adecvate pentru descrierea unor sisteme foarte stabilizate. Ipoteza permanenţei nu este aplicabilă grupărilor de stele nici în forma sa antică pe care o exprima destul de clar vechea expresie a „sferei stelelor fixe", nici în forma modernă şi mai subtilă a stabilităţii statistice. Or, acelaşi lucru este adevărat, din alte motive independente, în ceea ce priveşte structura internă a stelelor, ceea ce ne conduce la punctul al doilea.

2. Indiscutabil, una dintre cele mai importante descoperiri ale secolului este posibilitatea existenţei unei chimii nucleare, în

[1] F. NAHON, *artic. cit.*, p. 861.

cadrul căreia atomii se transformă unii în alţii. Ea a avut consecinţe capitale, printre multe altele, în dezvoltarea unei imagini mai vii şi mai precise a mobilităţii cosmice. În 1919, Jean Perrin a propus, pentru prima dată, ipoteza după care transmutaţia hidrogenului în heliu ar putea sta la originea enormului debit de energie al Soarelui ; acest lucru era adevărat, dar va rămîne mulţi ani nedemonstrabil. Jeans, a cărui operă reprezintă preludiul întregii cosmologii moderne şi pe care îl fascina imaginea unui Cosmos transformat în cele din urmă total în lumină, avea toate motivele pentru a aprecia şi a-şi însuşi presupunerea lui Perrin. Totuşi, nu el este acela care a făcut-o ,,operatorie'' pentru astrofizică, ci, în anii premergători celui de-al doilea război mondial, cîţiva fizicieni mult mai tineri, entuziasmaţi de fizica nucleară : ,,ciclul carbonului'' al lui Bethe şi von Weizsäcker, procesul proton-proton al lui Schatzman şi Fowler, ambele transformînd hidrogenul în heliu, sînt, în esenţă şi în timpul celei mai mari părţi din viaţa stelelor, fenomenele energetice de bază.

Or, a constata aceste fapte nu înseamnă numai găsirea cheii care deschide marea poartă a fizicii stelare, ci şi asigurarea, în cunoştinţă de cauză, că stabilitatea Soarelui — a cărei riguroasă precizie pe o durată imensă este atestată de însăşi viaţa noastră — nu este decît aparenţa trecătoare a unei transformări în sens unic. Căci, dacă toate lanţurile de reacţii nucleare se soldează cu un bilanţ energetic echilibrat, ele nu sînt mai puţin asimetrice din cauza defectului de masă al heliului ; o fracţiune din masa originară este deci disipată, ireversibil, ca energie radiantă. În inima unuia dintre procesele cosmice cele mai comune şi mai elementare se regăseşte deci această distincţie esenţială dintre cantitatea de energie şi calitatea sa, care făcuse atît de laborioasă punerea la punct a conceptelor termodinamicii, pe vremea cînd aceasta se ocupa numai de modestele cazane omeneşti şi nu de imensele cuptoare stelare.

Totuşi căutările conjugate ale teoriei şi ale observaţiilor astrofizice nu au întîrziat să arate că faza din viaţa stelelor al cărei curs este guvernat de transformările hidrogen→heliu, nu este decît partea stabilă şi calmă, într-un fel vîrsta adultă a unei istorii mai frămîntate în peripeţiile sale iniţiale şi finale, mult mai scurte şi mai greu observabile şi inteligibile, dar asupra cărora se face încetul cu încetul lumină.

Or, explorarea dificilă a avatarurilor stelei care îmbătrîneşte repune şi amplifică problema cosmogonică. Nu rămîne nici o îndoială : cînd în centrul stelei hidrogenul este în întregime transformat în heliu, începe ,,aprinderea'' heliului (*helium flash*) înso-

ţită de o formidabilă creştere a temperaturii[1] şi este inaugurat un ciclu nou de transmutaţii nucleare în cursul căruia se vor putea forma nuclee din ce în ce mai complexe. Cu alte cuvinte, în stele are loc o geneză cel puţin parţială a *elementelor*, plecînd de la cel mai simplu dintre ele. Apare astfel pentru gîndirea cosmogonică o nouă dimensiune şi problema genezei se pune pe toată întinderea fenomenelor fizice, de la cele mai infime la cele mai imense. Cel puţin această formă de uniformitate, de a participa la o aceeaşi devenire, se impune tuturor existenţelor fizice, de la un capăt la celălalt al scării cosmice. Este oare această devenire *aceeaşi*, şi în ce sens? Problema ocupă un loc prea important în cadrul gîndirii cosmologice pentru ca să nu-i acordăm măcar o examinare sumară.

---

[1] Temperatura în centrul stelei, care este de ordinul a 20 de milioane de grade în timpul perioadei reacţiilor hidrogenului, ar atinge 300 de milioane de grade la sfîrşitul perioadei de *helium flash* (M. SCHWARZSCHILD, *Stellar Evolution. Transactions of the I.A.U. XI—B*, 1962, pp. 137—143).

Capitolul II

COSMOLOGIA RELATIVISTĂ. ETAPELE DESCOPERIRII

A. Lucrarea Kosmologische Betrachtungen a lui Einstein și Universul cilindric

O comunicare a lui Einstein făcută la Academia de Științe din Prusia [1] deschide, în februarie 1917, o nouă eră în cosmologie. Deşi aceste *Considerații cosmologice* sînt foarte îngrijit și riguros motivate, rezultatul la care ele conduc, celebrul „Univers cilindric" al lui Einstein, este în general mai bine cunoscut decît intenția care le-a animat. Totuşi, din punctul nostru de vedere, istoric şi filozofic, tocmai această intenție este cea care trebuie să ne rețină în primul rînd atenția. Iată mai întîi linia generală a argumentației : folosind legea gravitației a lui Newton, este imposibil să se obțină o reprezentare coerentă a Universului în ansamblul său, care să concorde cu faptele de observație cele mai bine stabilite, în afară de cazul în care se adaugă un termen suplimentar în ecuația lui Poisson. Or, în teoria relativității, apare o dificultate analoagă şi este posibilă o rezolvare analoagă ; analogia cu ecuația lui Poisson, analogie pe care este construită ecuația relativistă a cîmpului, se prelungeşte într-un anumit sens în extrapolarea cosmică [2]. Numai că, în cazul formulei relativiste — în afară de faptul că nu se pune problema revenirii la teoria newtoniană — modificarea ecuației cîmpului antrenează o modificare radicală a imaginii științifice tradiționale a Universului ; pe cînd timpul continuă să se întindă între infinitul trecutului şi infinitul viitorului, spațiul se închide ; nu mai există infinit în spațiu și totuşi spațiul nu are limite ; centrul este pretutindeni și circumferința nicăieri. În plus, această suprimare a infinitului este scopul căutat în mod explicit de autor, care găsește astfel singurul mijloc de a se debarasa de o dificultate inextricabilă.

---

[1] A. EINSTEIN, *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeine Relativitätstheorie*, Sitzungberichte der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften, 1917, pp. 142—52.

[2] Vezi Anexa, III, ec. (34, 35).

Dificultățile cosmologiei newtoniene erau bine cunoscute încă de la sfîrșitul secolului al XIX-lea. Trebuie mai întîi să ne reamintim împreună cu Einstein, principala lor sursă : ecuația lui Poisson, care leagă potențialul gravitațional (prin derivatele sale de ordinul doi) de densitatea materiei, este o ecuație cu derivate parțiale, deci o ecuație locală. Dacă vrem s-o aplicăm unui sistem finit și, cu atît mai mult, Universului în întregime, trebuie definite condițiile la limită ; or, exact același lucru se petrece cu ecuația relativistă a cîmpului, care este de asemenea o relație locală. Dacă se consideră un sistem finit, se impune de la sine condiția ca la infinit cîmpul să se anuleze, deci potențialul să fie constant. Acesta este tocmai modul în care Einstein a tratat problema planetelor. Mai poate fi oare folosită aceeași ipoteză atunci cînd este vorba de întregul Univers? Cu siguranță nu, în cadrul teoriei newtoniene : într-adevăr, din ecuația lui Poisson rezultă că, dacă se alege un punct central în care potențialul este diferit de zero, trebuie ca la infinit densitatea să fie nulă. Așadar, Universul newtonian ar trebui să fie materialmente finit într-un spațiu infinit. Este acest lucru de conceput? Nu prea, fiindcă ar trebui să înțelegem în ce fel corpurile cerești, care sînt animate de anumite viteze individuale, sînt împiedicate să iasă din sistemul newtonian. Pentru aceasta ar trebui, conform legilor mecanicii statistice, ca potențialul gravitațional la frontiera sistemului să fie foarte mare, ipoteză incompatibilă cu vitezele stelare efectiv observate.

Singura soluție posibilă în cadrul teoriei newtoniene — așa cum demonstrează pe la 1895 predecesorii lui Einstein, Seeliger și Neumann, — constă în a modifica ecuația lui Poisson, introducîndu-i un termen proporțional cu Φ. În acest caz se ajunge la o nouă soluție care corespunde unei distribuții uniforme a materiei extinse pînă la infinit. Fapt remarcabil, sistemul cosmic nu mai are atunci un centru, el este în echilibru și contradicția cu mecanica statistică dispare.

Această referire la teoria newtoniană, pe care Einstein o considera depășită și integrată în teoria al cărei autor era, nu putea fi în ochii săi, evident, decît un mijloc indirect de a-și clarifica lucrurile. Ea arată, dacă mai este nevoie, cît de preocupat era marele inovator de tranziția de la știința clasică la știința modernă și ce valoare atribuia el procedeului de generalizare analogică ; dar Einstein nu pretindea ca modificarea adusă teoriei newtoniene să fie „luată în serios". De luat în serios este preocuparea de a ști ce se va întîmpla cu aceeași problemă în cadrul teoriei relativității generalizate.

Deşi se prefigura prilejul unei noi lovituri de trăznet, autorul acestor consideraţii cosmologice ne invită mai curînd cu modestie să-l urmăm pe drumul oarecum indirect şi nu prea neted pe care el însuşi l-a trasat, pentru că numai în felul acesta poate spera că cititorul „se va interesa de rezultat". Parcurgînd acest drum putem regăsi prima intenţie a cosmologiei secolului al XX-lea.

Principiul este acela că „într-o teorie coerentă a relativităţii nu poate exista inerţie în raport cu spaţiul, ci numai o inerţie a maselor unele faţă de celelalte", o nouă formulare a principiului lui Mach, care constituia deja unul din postulatele teoriei relativităţii generalizate. Se vede astfel că pentru Einstein extrapolarea cosmologică este prelungirea naturală a teoriei relativităţii, mai exact prelungirea ei logică în sensul principiilor şi nu în acela al consecinţelor.

Într-adevăr, dacă vrem să dăm o valoare cu adevărat universală principiului relativităţii inerţiei, rezultă consecinţe foarte restrictive pentru determinarea coeficienţilor metricii spaţio-temporale, — ceea ce dovedeşte dealtfel foarte puternica coerenţă logică a sistemului einsteinian. Inerţia unui corp care se depărtează infinit de orice masă ar trebui să tindă spre zero; în acest caz, un calcul simplu arată — şi o examinare mai riguroasă confirmă — că coeficienţii variabilelor spaţiale în expresia metricii tind spre zero şi că cel al termenului temporal creşte infinit. Rezultă de aici consecinţa satisfăcătoare aprioric că în aceste condiţii o particulă nu poate părăsi sistemul, pentru că energia ei potenţială tinde spre infinit atunci cînd ea se îndepărtează.

Or, ecuaţiile teoriei relativităţii fiind aşa cum sînt, ar trebui ca asemenea condiţii să fie compatibile cu starea fizică a Universului real, aşa cum îl observăm în partea lui care ne este accesibilă. Lucrurile însă nu stau aşa şi ajungem din nou la dificultăţile cosmologiei newtoniene: cerinţa ca potenţialele la infinit să fie infinite este incompatibilă, conform mecanicii statistice, cu faptul observat că vitezele stelelor sînt mici în raport cu viteza luminii. Einstein spune că a întors problema pe toate feţele, cu ajutorul matematicianului Grommer, şi s-a convins că este de nerezolvat.

Iată-l deci ajuns la un punct critic în care, încă o dată, va da măsura geniului său. Pentru a ieşi din impas, nu-i rămîn decît două soluţii, dar cum nici una nici cealaltă nu-l satisface taie nodul gordian şi inventează o a treia. Prima posibilitate (*a*) ar consta din substituirea, într-o manieră clasică, a condiţiei la limită avută în vedere mai înainte, printr-o condiţie care cere ca, la infinit, forma metricii spaţio-temporale să fie cea a relativităţii

restrînse[1]. Aceasta este condiţia la care el s-a oprit în studiul problemei planetelor, cu succesul pe care-l cunoaştem.

Două considerente îl abat însă pe Einstein de la această cale. Primul este că aceasta presupune alegerea unui sistem de referinţă determinat, ceea ce „contrazice spiritul principiului relativităţii". Problema planetelor este o problemă locală şi natura ei impune evident alegerea unui sistem de referinţă centrat în Soare, presupus fix; fiind vorba de Univers, trebuie ca orice sistem de referinţă să fie echivalent cu oricare altul. Al doilea motiv de a exclude această soluţie este incompatibilitatea sa cu principiul relativităţii inerţiei: un corp infinit îndepărtat de orice materie ar mai păstra încă o inerţie şi chiar una aproape la fel de mare ca atunci cînd el se află în vecinătatea materiei, pentru că, în orice caz, în partea Universului pe care noi o cunoaştem potenţialele nu se pot abate mult de la valorile postulate la infinit.

„În felul acesta, inerţia ar fi desigur *influenţată* (*beeinflusst*), dar nu *determinată* (*bedingt*) de materia prezentă într-un domeniu finit". Această exprimare, atît de caracteristică filozofiei einsteiniene cu exigenţele ei de determinare completă, echivalează deci cu o condamnare definitivă a soluţiei (*a*).

Cît despre soluţia (*b*), ea conduce direct la pluralism, ba chiar la scepticism cosmologic: ea constă în renunţarea la o definire universală a condiţiilor la infinit. Aceste condiţii ar trebui să fie formulate în fiecare problemă particulară şi nu ar avea valoare decît în raport cu problema respectivă. O soluţie de necombătut, declară Einstein concesiv, dar se poate spune că însăşi etica sa ştiinţifică este în joc: „Trebuie să mărturisesc că îmi este greu să mă resemnez într-o asemenea măsură, într-o astfel de problemă de principiu; nu m-aş hotărî la aceasta decît dacă toate eforturile de a găsi o interpretare satisfăcătoare s-ar dovedi inutile".

Care este atunci cea de-a treia posibilitate care va permite ieşirea din impas? Prezentată în afara contextului, ea ar părea o stratagemă dialectică: condiţiile la infinit fiind imposibil de definit, nu rămîne decît să suprimăm infinitul... „Dacă ar fi posibil să considerăm lumea ca un *continuum* închis *în ceea ce priveşte dimensiunile sale spaţiale* (sublinierea lui Einstein), atunci nici o condiţie la limită de acest fel nu ar mai fi necesară". Tocmai această eschivare aparentă constituie primul act al cosmologiei contemporane.

Înainte de a-l urma pe Einstein prin această nouă breşă în edificiul ideilor preluate, iată două remarci prealabile care vor

---

[1] Vezi Anexa, II, ec. 28.

face să pară mai puţin insolit modul său de a raţiona. Mai întîi, transformarea, în sensul pe care-l au aici cuvintele, a finitului în infinit este o operaţie destul de elementară din punct de vedere matematic, care capătă un aspect demiurgic numai dacă încercăm să ne imaginăm aplicarea sa la Universul real. Inversiunea, spre exemplu, o transformare geometrică a cărei lege este foarte simplă, transformă punct cu punct (cu excepţia centrului de inversiune însuşi) o sferă într-un plan, dacă centrul de inversiune este pe sferă. Matematica a inserat conceptele „naturale", dacă se poate spune aşa, de finit şi infinit într-o reţea atît de complexă de definiţii, de axiome şi diverse operaţii, încît vechea opoziţie şi-a pierdut oarecum caracterul afectiv abrupt (aşa cum îl întîlnim la Pascal), ba chiar şi aspectul antinomic metafizic pe care-l îmbracă la Kant.

A doua remarcă este aceea că redescoperirea Universului finit este pregătită şi anunţată de dezvoltarea teoriei relativităţii generalizate în forma ei locală. Această teorie implică într-adevăr că materia determină, în regiunea din spaţiu în care se găseşte, o modificare a structurii metrice a spaţiului care are o anumită legătură cu o „curbură" în sensul uzual al cuvîntului, spre exemplu cea pe care o vedem la suprafaţa Pămîntului, pe culmea unui deal, într-o trecătoare sau pe fundul unei vîlcele. În termeni mai abstracţi, teoria pune local în discuţie aptitudinea geometriei euclidiene de a reprezenta fidel proprietăţile geometrice ale spaţiului fizic, cel puţin în vecinătatea unor mari concentrări de materie. Mergînd pe drumul cosmologiei einsteiniene, nu trebuie să uităm această etapă de deformare locală a structurii euclidiene.

Acestea fiind spuse, să reluăm drumul „nu prea neted" al lui Einstein din punctul în care l-am lăsat. Neputînd să iasă din impas, el se întoarce mult în urmă şi schimbă complet direcţia : el stabileşte aprioric că spaţiul este închis, se întreabă în ce condiţii o asemenea ipoteză este compatibilă cu ecuaţiile cîmpului şi descoperă în final că această compatibilitate poate fi asigurată prin introducerea unui termen suplimentar în aceste ecuaţii, în mod formal analog celui care, introdus în ecuaţia lui Poisson, eliberează cosmologia newtoniană de contradicţiile ei.

Cum va proceda el? Mai întîi, prin Univers finit, trebuie să înţelegem spaţiul finit, cu trei dimensiuni, în care două puncte oarecare pot fi totdeauna unite printr-o traiectorie a cărei lungime rămîne mai mică sau egală cu o valoare maximă finită, şi care totuşi nu lasă nimic „în afara" lui şi nu are margine. Modul cel mai simplu — cel ales de către Einstein — de a arăta posibi-

litatea existenţei unui asemenea spaţiu, este de a-l face, pînă la un anumit punct, intuitiv, procedînd prin analogie. Într-un spaţiu euclidian cu trei dimensiuni, coordonatele carteziene ale unui punct de pe o sferă — o suprafaţă adică un *continuum* cu două dimensiuni — verifică o anumită relaţie algebrică, ecuaţia sferei. Adăugînd spaţiului încă o dimensiune şi scriind o ecuaţie identică cu cea a sferei, cu singura excepţie că aceasta leagă nu trei ci patru coordonate pentru fiecare punct, se defineşte un *continuum* cu trei dimensiuni, o hipersuprafaţă, care va prezenta importante analogii cu sfera (aşa cum dreapta, planul, spaţiul euclidian cu trei sau cu *n* dimensiuni sînt entităţi geometrice analoage, deşi nu au acelaşi număr de dimensiuni). În afară de caracterele excepţionale de simetrie şi de regularitate ale sferei, hipersuprafaţa va avea de asemenea aceeaşi proprietate de a fi un ansamblu geometric închis şi finit.

În acest spaţiu, ca şi pe sferă, nu vor exista linii drepte, dar vor exista curbe — analoage cu cercurile mari de pe sferă — care vor juca rolul dreptelor euclidiene; ele vor defini traiectoria naturală a razelor de lumină; urmîndu-le indefinit, un mobil va reveni în punctul său de plecare (tot aşa cum, pe Pămînt, un călător plecat de la Polul Nord urmînd un meridian, revine în mod sigur în punctul de plecare).

Ce este de fapt acest spaţiu euclidian cu patru dimensiuni pe care Einstein a trebuit să-l inventeze pentru a obţine imaginea spaţiului închis cu trei dimensiuni pe care-l căuta [1]? Posibilitatea existenţei spaţiului închis nu este subordonată oare unei ipoteze gratuite, pe care nici una din proprietăţile cunoscute ale naturii fizice n-o îndrituieşte? Einstein pune această întrebare dar nu se opreşte asupra ei, deoarece ea nu ridică nici o dificultate reală; ni se pare totuşi oportun să ne oprim puţin asupra ei pentru mai buna înţelegere a ceea ce urmează.

De fapt, ipoteza spaţiului euclidian cu patru dimensiuni nu este deloc necesară, deşi ar putea fi în anumite împrejurări utilă. Proprietăţile metrice ale suprafeţelor sau ale hipersuprafeţelor sînt cel puţin local independente de faptul că sînt sau nu considerate ca fiind scufundate în spaţii de dimensiuni mai mari şi, după Gauss şi Riemann, geometrii au învăţat să exprime aceste proprietăţi intrinseci fără să recurgă în mod necesar la un sistem de referinţă al cărui număr de dimensiuni depăşeşte pe cel al „varietăţii" ce urmează să fie descrisă. Limitaţi la suprafaţa sferei şi

---

[1] Acest spaţiu auxiliar, euclidian şi fictiv, nu trebuie desigur confundat cu spaţiu-timp-ul, care şi el are patru dimensiuni, dar nu este nici euclidian, nici fictiv.

incapabili de a o „vedea" în trei dimensiuni, geometrii instruiți de Gauss și Riemann ar fi totuși capabili să-i descrie exact proprietățile.

Riguros vorbind aceasta nu este adevărat decît local și caracteristicile metrice intrinseci nu sînt suficiente pentru a determina în mod complet forma suprafeței și proprietățile ei metrice globale : luînd sau nu în considerație o dimensiune suplimentară, o soluție globală sau alta se va putea impune sau va fi exclusă. În cazul considerat de Einstein — acest lucru nefiind valabil, desigur, pentru toate geometriile cosmice imaginabile — acest aspect al problemei este secundar, după cum vom vedea mai departe.

Ipoteza auxiliară a spațiului euclidian cu patru dimensiuni „nu servește deci decît pentru o definire comodă a hipersuprafeței noastre", după însăși expresia lui Einstein. Ea nu introduce nici un postulat de natură fizică sau epistemologică și, oricît de dificil de imaginat ar fi spațiul „sferic", nici o dificultate de principiu nu ne împiedică să-l considerăm ca pe o reprezentare adecvată a proprietăților geometrice ale spațiului fizic.

Dealtfel nu acest lucru era important pentru Einstein. Conform teoriei relativității generalizate, starea materiei și structura metrică a spațiului în care ea este conținută sînt legate analitic ; trebuia deci să se determine dacă, și în ce condiții, se poate concepe o stare a materiei în Univers căreia să-i corespundă, conform ecuațiilor relativiste, o geometrie sferică a spațiului. Acesta este subiectul primei discuții în legătură cu ceea ce va deveni problema cosmologică, iar postulatele fundamentale ale științei despre Univers sînt clar evidențiate aici.

La scara fenomenelor locale, există asemenea neregularități în distribuția materiei încît structura metrică a spațiu-timp-ului nu poate fi decît extrem de complicată. Dar dacă Universul este considerat în ansamblul său, materia este repartizată pe spații atît de enorme încît densitatea poate fi considerată ca uniformă și puțin variabilă ; rezultă deci că sub neregularitățile locale, se va contura o structură metrică simplă. Așa procedează de fapt geodezii : suprafața Pămîntului este extrem de neregulată în detaliu dar, la scară mare, ei pot să-i substituie figura simplă și regulată a *geoidului*. În 1917, acest postulat al uniformității era o anticipare destul de îndrăzneață, sugerată mai curînd de un sentiment al unității cosmice și al simplității naturii decît de rezultatele observației. Dar, așa cum am văzut, marile descoperiri astronomice din deceniul al treilea l-au confirmat în mod strălucit.

În afară de aceasta, constată Einstein, faptul că vitezele medii ale stelelor sînt mici în raport cu viteza luminii [1], îndreptățește ipoteza existenței în Univers a unui sistem de coordonate în raport cu care materia poate fi considerată într-un repaus durabil. Spre deosebire de ipoteza precedentă, aceasta nu a fost confirmată de observație, ci contrazisă de descoperirea deplasării spre roșu a nebuloaselor, a cărei existență era numai bănuită la acea dată.

Dar, cu ajutorul acestei ipoteze, Einstein poate simplifica extrem de mult tensorul energie pentru materia cosmică: cele zece componente ale lui se reduc la una singură, densitatea medie de materie-energie, care poate fi aprioric o funcție de coordonate; dar dacă se presupune că spațiul este închis, „se ajunge în mod natural la *ipoteza* că densitatea ρ este independentă de loc".

Dacă se introduce această valoare simplificată în ecuațiile cîmpului, admit oare aceste ecuații ca soluție metrica spațiului sferic? Nu, compatibilitatea nu se obține decît prin modificarea ecuațiilor, prin introducerea unui nou termen denumit în mod obișnuit „termen cosmologic", în care figurează o nouă constantă numită și ea „constantă cosmologică" și notată totdeauna după Einstein [2], cu Λ.

Această modificare este permisă pentru că nu contrazice nici una din axiomele teoriei relativității generalizate. În particular, ea lasă intactă ecuația de conservare și dă, de fapt, ecuațiilor cîmpului forma cea mai generală compatibilă cu axiomele teoriei. Nu se poate să nu fim frapați de această coincidență exactă între generalizarea formală și extrapolarea cosmologică, deși după aceea, așa cum vom vedea, Einstein a făcut destul de puțin caz de această coincidență.

Astfel modificate, ecuațiile admit ca soluție o structură metrică în care spațiul este hipersferic, închis, iar timpul este deschis, neafectat de curbura spațiului.

Universul lui Einstein este primul model al cosmologiei moderne și, de fapt, prima reprezentare geometrică a totalității fizice care să nu fie în contradicție formală cu principiile și cu legile cele mai bine stabilite ale fizicii pozitive. Materia și energia sînt aici repartizate uniform într-un spațiu închis, hipersferic, omogen, fără nici o singularitate, în care nici un punct nu se deosebește intrinsec de altul, decît cel mult prin neregularitățile locale, întîmplătoare și lipsite de orice semnificație cosmică.

---

[1] Vezi cap. I, p. 28.

[2] Vezi Anexa, III, ec. 37.

Pe o hipersuprafaţă cu trei dimensiuni, geometria lui Riemann permite definirea unei „curburi" prin generalizarea curburii lui Gauss, definită pentru suprafeţele obişnuite: în cazul general, această curbură depinde atît de punctul ales, cît şi de direcţia aleasă. În cazul hipersferei, ea nu depinde însă nici de punct, nici de direcţie, ci este o constantă caracteristică a varietăţii; şi, deoarece ea este pozitivă, defineşte o „rază de curbură" analoagă întru totul razei sferei. Între această rază, densitatea cosmică şi constanta Λ există relaţii determinate de ecuaţiile cîmpului[1].

În acest spaţiu, în care nu există drepte, lumina se propagă de-a lungul liniilor care indică drumul cel mai scurt, geodezicele, analoage cercurilor mari ale sferei; aceste linii sînt curbe închise. Un impuls luminos poate să facă deci înconjurul lumii şi să revină în punctul de plecare.

Volumul Universului, ca şi circumferinţa lui sînt finite. Aceste mărimi sînt determinate de valoarea densităţii cosmice şi de proprietăţile geometrice ale spaţiului, dar nu în mod univoc. Trebuie introdusă deci o ipoteză suplimentară privind topologia spaţiului; dacă îl presupunem scufundat într-un spaţiu euclidian cu patru dimensiuni, nu există decît o singură soluţie: varietatea „sferică". Dar cum ipoteza spaţiului euclidian cu patru dimensiuni este arbitrară, mulţi autori preferă o altă soluţie numită „eliptică", deşi ea este imposibil de imaginat; ea diferă de prima soluţie prin aceea că punctele „antipozi" sau diametral opuse din varietatea „sferică" se identifică în cea de-a doua soluţie. În varietatea eliptică, circumferinţa lumii şi volumul ei sînt de două ori mai mici decît în varietatea sferică[2].

În Universul lui Einstein, curbura spaţiului nu afectează timpul; deosebirea intrinsecă dintre timp şi spaţiu, pusă în discuţie de geometria locală a teoriei relativităţii restrînse, este deci restabilită la scară cosmică. Un timp universal se scurge uniform în orice punct al Universului einsteinian, de la minus infinit la plus infinit, fără ca vreun anumit moment să se distingă intrinsec de oricare altul. Aceasta este o consecinţă a ipotezei repausului cosmic, în virtutea căreia este posibil să se aleagă un sistem de coordonate în raport cu care viteza medie a materiei este peste tot şi în mod constant nulă; aceasta este legată de asemenea de faptul că ecuaţia cîmpului modificată permite definirea unui sistem cosmic de inerţie.

---

[1] Vezi Anexa, VI, ec. 62.
[2] Vezi Anexa, IV, ec. 43, 2 şi IV, ec. 53.

Uneori se exprimă această particularitate a Universului einsteinian spunîndu-se că spaţiu-timp-ul este aici „cilindric", expresie care nu figurează în *Kosmologische Betrachtungen* ale lui Einstein. Spaţiul este curbat şi închis, întocmai ca cercul de la baza unui cilindru ; timpul însă este „drept !" şi deschis ca axa unui cilindru. Pe cilindru, traiectoriile particulelor se înfăşoară ca nişte elice, traiectoriile luminii fiind cele al căror pas este cel mai mic.

B. Sursele profunde ale cosmologiei secolului al XX-lea

Acestea sînt *Kosmologische Betrachtungen* ; şi, cu toate ocolurile drumului, se descoperă o minunată armonie între scop şi mijloace, între fizica locală şi fizica cosmică, în sfîrşit, între geometria Universului şi filozofia autorului său.

Totuşi, după patruzeci şi cinci de ani, acest memoriu uimitor nu apare astăzi atît ca rezultatul şi încununarea edificiului conceptual al teoriei relativităţii, cît ca un punct de plecare — ba chiar o falsă plecare — nu mai puţin, dar nici mai mult decît o genială deschidere spre un nou cîmp de meditaţie matematică, şi o reînviere a unora din cele mai vechi dezbateri asupra naturii.

Rezultatul acestei prime tentative cosmologice este într-adevăr ambiguu. Dacă se confruntă mai întîi exact intenţia cu rezultatul, aşa cum nu a întîrziat să dovedească de Sitter, trebuie să spunem că este vorba de un eşec. Într-adevăr, contrar în ceea ce credea Einstein, modificarea ecuaţiilor cîmpului nu exclude *ipso facto* orice soluţie vidă şi nu face imposibilă din punct de vedere matematic ipoteza unui spaţiu-timp structurat metric din care orice materie ar fi exclusă ; aceasta contrazice însă evident cerinţa determinării complete a geometriei cosmice de către conţinutul material al Universului.

Consecvent cu sine însuşi, cînd s-a convins că nu a ajuns în căutările sale acolo unde dorea, Einstein a abandonat meditaţia cosmologică timp de mulţi ani ; dar atunci cînd a revenit la ea, a făcut-o, aşa cum vom vedea, cu principii sensibil diferite.

Dealtfel, între timp, nu numai rezultatul *Consideraţiilor cosmologice*, dar chiar şi problematica de care au fost inspirate a fost depăşită pe nesimţite de dezvoltarea ştiinţei, aşa încît cititorul care revine la ele în prezent nu poate să nu fie izbit de aspectul „clasic" al problemelor, al ipotezelor, al raţionamentelor. Problema inerţiei era pentru Einstein, în 1917, problema centrală,

iar proiectul filozofic dominant rămînea acela de a degaja știința fizică de orice ontologie[1] a materiei sau a spațiului. Adversar al mecanicismului, a cărui incapacitate de a furniza concepte corespunzătoare spiritului științei moderne[2] a denunțat-o, Einstein i-a rămas totuși tributar, așa cum Descartes rămăsese tributar filozofiei scolastice.

După un interes din ce în ce mai scăzut față de problema inerției, cosmologii generației contemporane au readus-o la ordinea zilei : aceasta pentru a constata că, în această privință, eșecul lui Einstein nu a fost reparat și că nu s-a ajuns să se dea principiului relativității inerției o expresie matematică perfect satisfăcătoare [3]. Unii autori, ca Hoyle, sînt înclinați să tragă tocmai de aici concluzia că acest principiu nu este în cele din urmă de prea mare interes. Chiar dacă el este adevărat, valoarea sa euristică, fecunditatea sa deductivă rămîn foarte limitate.

În lucrarea lui Descartes *Principes de la Philosophie*, inerția corpurilor este dedusă, după cum se știe, din imuabilitatea acțiunii divine [4]. Pentru Einstein, ca și pentru Mach, excluderea oricărei noțiuni teologice de acest fel din fundamentele științei, prin constituirea matematică a conceptului de inerție la nivelul interacției fenomenale era o sarcină filozofică de cea mai mare importanță. Dar de la Einstein la Hoyle se produce o transformare poate mai decisivă : inerția încetează de a mai fi o problemă centrală... De ce? Fără îndoială aceasta este una dintre consecințele unei dezvoltări generale a științei fizice care o face să acorde din ce în ce mai mare importanță, atît pe plan teoretic cît și pe plan experimental, radiației în raport cu mișcarea. Pentru a rămîne la astronomie, este clar că de acum înainte cea mai mare parte a informațiilor sale provin din analiza radiației stelare sau a radiațiilor cu lungime de undă mare care își au sursa în structurile cele mai variate. În ceea ce privește viața stelelor, radiația joacă și în acest caz un rol la fel de important ca fenomenele dinamice în sens restrîns.

În 1917, filozofia științei fizice se găsea încă sub autoritatea mecanicii cerești, în care Einstein căuta dealtfel una din rarele confirmări experimentale posibile ale teoriei relativității generalizate.

---

[1] Einstein are în vedere aici concepția substanțialistă a materialismului modern asupra materiei și spațiului. — *N.R.*

[2] A. EINSTEIN, L. INFELD, *L'Évolution des idées en Physique*, trad. Solovine, Flammarion, Paris, 1938.

[3] H. BONDI, *Cosmology*, U.P. Cambridge, ed. a II-a, 1960, cap. IV.

[4] *Principes*, partea a II-a, §§ 35—37.

Dar după cincisprezece ani de la considerațiile cosmologice ale lui Einstein, atunci cînd problema cosmologiei newtoniene va fi readusă la ordinea zilei de noua generație de cosmologi, va reieși că adevărata superioritate — în acest sens — a teoriei relativiste se manifestă atunci cînd este vorba de înțelegerea deplasării spre roșu : deoarece nu dispunea de nici o relație necesară între dinamică și electromagnetism, teoria newtoniană nu permitea nici o deducție în ceea ce privește raportul dintre starea dinamică a sistemului cosmic și proprietățile luminii [1].

Există și un al doilea punct, mai evident, în care problematica *Considerațiilor cosmologice* a fost destul de repede depășită : este vorba de faptul că ipoteza repausului cosmic a devenit caducă, sau cel puțin îndoielnică, în urma descoperirii deplasării spre roșu a nebuloaselor. Sugerată de faptul că vitezele stelare sînt mici în raport cu viteza luminii, această ipoteză are de fapt rădăcini mai adînci, pentru că se întîlnește în filozofia greacă, aflată la originea raționalismului occidental. Rolul său determinant în orientarea gîndirii einsteiniene apare destul de clar în *Kosmologische Betrachtungen*, înainte chiar ca aceasta să fi fost formulată în mod explicit. Ceea ce face inacceptabilă cosmologia newtoniană în ochii lui Einstein este faptul că teoria pe care se bazează aceasta este incapabilă să explice ce împiedică dispersarea sistemului lumii : pentru Einstein este subînțeles faptul că sistemul lumii, dacă se dispersează prin natura sa, *este deja* dispersat. El nu se oprește nici un moment la ipoteza că lumea ar putea fi în curs de dispersare și că noi am putea asista la un moment al acestei dispersări. Douăzeci de ani mai tîrziu, cosmologii și chiar Einstein însuși nu vor mai considera absurde modelele de univers în cadrul cărora am fi situați într-un moment determinat al unui proces de dispersare. Aceasta pentru că între timp descoperirea deplasării spre roșu a nebuloaselor proiectase săgeata timpului asupra Universului și pentru că Universul însuși din *Considerațiile cosmologice* apărea minat de o instabilitate secretă care îl făcea incapabil să persevereze în starea de repaus general în care Einstein dorise să-l plaseze.

Dacă este așa, dacă *Kosmologische Betrachtungen* nu oferă decît un răspuns nu tocmai adecvat unei probleme ale cărei date însele nu mai sînt cele luate în considerație de contemporanii ei, n-ar trebui oare ca această lucrare — destul de scurtă în raport cu

[1] H. BONDI, *op. cit.*, p. 86. Cosmologia newtoniană nu explică deplasarea spre roșu decît dacă viteza luminii se compune „clasic" cu celelalte viteze, ceea ce este contrar electromagnetismului lui Maxwell.

opera imensă, cantitativ și calitativ, a autorului ei — să fie pur și simplu neglijată, așa cum a făcut-o, dealtfel, el însuși?

Dar tocmai aici intervin ambiguitățile și meandrele istoriei. Dacă memoriul din 1917 a rămas totuși un element de primă importanță în această operă, aceasta se datorește unui dublu motiv. Primul dintre ele este următorul:

În afara motivelor particulare ale lui Einstein, evoluția însăși a gîndirii relativiste ducea la repunerea în discuție a Universului, iniția o reîntoarcere la vechea înțelegere cosmologică a filozofiei naturii pe care venirea la putere a fizicii pozitive o trecuse în umbră fără a-i înlătura însă cauzele. Evidențierea inaptitudinii științei clasice de a promova o reprezentare coerentă a Universului în întregime era unul din aspectele marii crize a gîndirii științifice de la începutul acestui secol. În acest domeniu, ca și în altele, deși poate că aici cu mai puțin succes și strălucire, Einstein îndeplinea misiunea de a face să izbucnească scandalul și de a reinventa atît problema, cît și soluția.

Pe de altă parte, marea schimbare a decorului cosmic, vălul ridicat de pe „regatul nebuloaselor" va pune într-o lumină vie încercarea lui Einstein, nu fără ca enigma matematică apărută în căutarea soluțiilor cosmice posibile ale ecuațiilor cîmpului să fi jucat, pe altă cale, un rol stimulator: tocmai acest aspect al istoriei științei fizice este bine reliefat de dezvoltarea cosmologiei contemporane. Formalismul matematic are un fel de putere distructivă în ceea ce privește tocmai intuițiile pe care a fost inițial fondat; o formulă construită în modul cel mai clasic și mai nevinovat poate fi sursa unor aparente paradoxuri, adică a unor idei noi. Problema cosmologică trebuia să reînvie, într-un mod sau altul; pentru că, deși Einstein nu o pusese și nici nu o rezolvase în mod total satisfăcător în 1917, nu i-au lipsit în acest domeniu nici urmașii și nici emulii.

Am relevat acel pasaj din *Kosmologische Betrachtungen* în care Einstein are în vedere faptul că în final se dovedește imposibil să se definească în general, în mod independent de problemele locale, condițiile la limită pe care ar trebui să le satisfacă la infinit soluțiile ecuațiilor cîmpului: el nu vrea să se alăture unei asemenea ipoteze decît în ultimă instanță și în disperare de cauză. Desigur, temperamentul său filozofic, atașamentul său față de principiul raționalității naturii sînt parțial responsabile de această profesiune de credință. Aceasta ar fi mai puțin energică și mai puțin explicită dacă tocmai unitatea naturii, sau chiar însăși ideea de Univers, nu ar fi amenințate de consecințele inevitabile ale concepției relativiste a fizicii.

Întreaga epistemologie clasică, chiar în formele sale cele mai puțin raționaliste, se sprijinea pe postulatul că spațiul euclidian, cu tripla sa infinitate și cu proprietățile sale metrice deosebit de simple, și timpul lui Galilei — uniform, liniar, infinit — au un sens ontologic și nu sînt simple reprezentări convenționale ale multiplicității fizice corespunzătoare. Fără îndoială valoarea ontologică a acestor forme abstracte era în discuție din momentul în care ele au început să formeze noua imagine a naturii, după prăbușirea fizicii calitative și a cosmologiei precoperniciene.

Dar dacă la Leibniz, spre exemplu, spațiul și timpul sînt eliberate de orice valoare materială, nu sînt mai puțin legate de o structură metafizică a cărei aparență relațională sînt. Multiplicitatea calitativă a indivizilor și a momentelor istoriei lor, calculul divin care îi ordonează dau acestei aparențe un fundament ontologic suficient. Or, cu toate incursiunile lui Leibniz în domeniul *analysus situs*, ideea că o multiplicitate continuă poate fi dotată cu o metrică arbitrară nu se putea forma în mod clar în secolul al XVIII-lea. Garanția metafizică dată multiplicității spațio-temporale se raportează astfel la proprietățile topologice și metrice ale spațiului euclidian și ale timpului galileian. Și atunci cînd garanțiile metafizice au devenit îndoielnice, ele au fost înlocuite de succesele răsunătoare ale mecanicii cerești.

Astfel, la Kant, reducerea spațiului și timpului la rolul unor forme apriorice ale sensibilității, oricît de „coperniciană" din punct de vedere metafizic, nu are în final decît consecințe epistemologice limitate. Fără îndoială știința pierde dreptul de a pretinde desăvîrșirea sintezei cosmologice, dar aceasta este de mică importanță față de imensul avantaj de a vedea structurile sale matematice esențiale supraviețuind ruinării metafizicii deductive. Fizicianul și astronomul trebuie să renunțe desigur la cosmologie, dar oricît de departe și-ar arunca privirea sau și-ar trimite gîndurile, unitatea transcendentală a spațiului și timpului le asigură conexiunea geometrică și corelații cinematice și dinamice, reglate de legi invariabile între fenomenele cele mai apropiate și cele mai îndepărtate.

Fizicianul criticist și apoi cel pozitivist se vor găsi atunci într-o postură favorabilă pentru a pretinde că nu vor să știe nimic din ceea ce depășește experiența reală sau posibilă, că se abțin de la orice speculație care trece dincolo de ceea ce este observabil. Înaintea teoriei relativității, astfel de declarații nu puteau fi luate cu totul în serios : posibilitatea de a trasa o linie dreaptă între două puncte oarecare din Univers, posibilitatea ca teorema lui Pitagora să fie adevărată în centrul Soarelui, nu sînt deloc aserțiuni experimentale, și ar trebui precizat în mod serios sensul cu-

vintelor „experiență posibilă" pentru a ști dacă astfel de posibilități au acest sens. Ele nu erau totuși suspectate ca „metafizice" și oricine se putea sprijini pe ele cînd avea nevoie, mai ales pentru a afirma că știința nu poate face generalizări decît prin inducție...

Toate îndemnurile la prudență ale spiritului științific nu puteau avea întîietate față de aserțiuni îndrăznețe cum ar fi : spațiul este pretutindeni euclidian, timpul pretutindeni uniform ; un orologiu cosmic bate secunda pentru întreg Universul ; un echer mare marchează unghiul drept la scara aștrilor, asemănător geometric cu echerul infinitezimal care permite reperarea incidenței razei luminoase pe suprafața moleculei. Un fel de panteism al măsurătorii proteja în mod secret agnosticismul metafizic al fizicianului de amețeala sceptică. *Primum movens* al lui Aristotel suportase prost reforma dinamicii ; un *primum metiens* îi luase locul, dar și acesta va suferi mult din pricina teoriei relativității.

Cu această teorie, geometria naturală devine, într-adevăr, locală ; acesta este prețul indiscutabilului progres în raționalizarea experienței fizice pe care o reprezintă „geometrizarea" dinamicii. Capabilă de a absorbi teoria gravitației, bazată pe axiome destul de generoase pentru ca misterioasa „atracție" a lui Newton să devină un simplu fenomen cinematic, geometria spațiului fizic își pierde, odată cu frumoasa sa simplitate euclidiană, și puterea de a lega, într-un același aparat formal, infinitul mic și infinitul mare.

La drept vorbind, practica conceptuală a științei clasice, dacă nu filozofia sa, conducea la această ultimă consecință : legile fizice sînt diferențiale : relațiile definite local, de la un punct și un moment date la punctul și momentul infinit apropiate, sînt mai universale, mai simple, mai riguroase decît relațiile integrale a căror cunoaștere presupune definirea condițiilor la limită și a căror aplicare este supusă hazardului extrapolării. Dar dacă spațiul este o existență fizică, de ce ar face relațiile geometrice excepție de la această regulă ?

După cum se știe, Gauss luase în serios problema de a ști dacă spațiul fizic este euclidian[1], la numai cîțiva ani după ce raționalismul revoluționar dăruise lumii cea mai durabilă din instituțiile sale : sistemul metric. (La sfîrșitul aventurii napoleoniene, rămînea îndoielnic dacă ființa supremă preferă judecători aleși sau prefecți numiți, cetățeanul sau statul, dar nu și că omul poate păstra și transporta pretutindeni o entitate geometrică, absolută, care să fie întotdeauna o mărturie a unei proporții definite între

---

[1] W. HEISENBERG, *Physique et Philosophie*, Albin Michel, Paris, 1961, p. 205.

pasul său şi dimensiunile locuinţei sale cosmice). Măsurătorile lui Gauss puteau fi dealtfel liniştitoare; teoremele euclidiene sînt verificabile experimental; a patruzecea milioana parte din meridianul terestru nu este o fantasmă. Aceasta nu era totuşi decît o remiză: Gauss demonstrase numai că la scara colinelor din Germania geometria lui Euclid este o excelentă aproximaţie.

Dacă însă geometria devine locală, ca şi fizica, cum se mai poate vorbi de Univers? Şi unde se găseşte această „bază de uniformitate", cum spune Whitehead, fără de care probabil că nici o ştiinţă nu este posibilă? Primii relativişti, dacă nu chiar Einstein, au pus în evidenţă consecinţele extraordinare la care poate duce abandonarea postulatului clasic după care structura metrică euclidiană, sau în orice caz cea minkowskiană, este valabilă pretutindeni în Univers.

Spre exemplu, dacă prezenţa materiei produce local o curbură pozitivă a spaţiului şi această curbură este o funcţie crescătoare de masa prezentă local, o cantitate suficient de mare de materie destul de densă poate provoca închiderea locală a unei părţi din spaţiu, rupînd astfel conexiunea spaţiului fizic, făcînd imposibilă orice comunicare, orice interacţie între acest spaţiu local izolat şi restul Universului. Eddington a calculat că o sferă de apă cu raza de cinci sute şaptezeci de milioane de kilometri (volum destul de mic la scara cosmică) ar fi un spaţiu închis, fără centru sau margine. Nici o rază luminoasă, nici o acţiune fizică n-ar putea intra sau ieşi din ea; în sens brut, acesta ar fi un Univers, fără nici o legătură cu restul[1].

La rîndul său, Weyl subliniază ciudatele consecinţe pe care le implică posibilitatea unei metrici riemanniene absolut generală pentru spaţiul fizic. Căci, remarcă el, Universul nu poate fi numit o „multiplicitate cvadridimensională" decît într-un anumit sens foarte precis: pentru orice punct din Univers există o vecinătate care se poate reprezenta în mod continuu printr-un ansamblu de sisteme de patru numere. Dar aceasta nu împiedică ca proprietăţile topologice ale unei regiuni finite a spaţiu-timp-ului să poată fi, ca şi cele ale suprafeţelor cu două dimensiuni, extrem de variate.

În particular, conurile viitorului şi trecutului care pleacă din fiecare punct pot să se intersecteze unul cu altul (ceea ce este imposibil în spaţiu-timp-ul „plat" al lui Minkowski), o linie de univers, chiar de gen temporal, poate reveni în vecinătatea unui punct prin care a trecut deja: presupunere destul de gratuită, recunoaşte Weyl, pentru că în regiunea din Univers pe care o cunoaştem,

---

[1] A.S. EDDINGTON, *Espace, Temps, Gravitation*, Hermann, Paris, 1921, p. 184.

variabilitatea metricii spaţio-temporale nu este destul de mare pentru a face posibile asemenea reîntoarceri. Dar aceasta nu îl împiedică să tragă concluzia că „oricît de paradoxale ar putea fi lucrurile, nu vor apare niciodată contradicţii cu faptele care formează experienţa noastră imediată"[1].

Într-un mod mai clar decît „picătura de apă" a lui Eddington, aceste remarci ale lui Weyl pun în evidenţă consecinţele neobişnuite la care conduc raţionamentele relativiste atunci cînd sînt duse pînă la capăt : certitudinile fizice sînt strict locale, nu există nici o evidenţă geometrică garantată dincolo de o vecinătate ale cărei limite sînt imposibil de definit aprioric ; Universul nu este decît o presupunere hazardată. Pluralismul şi empirismul cele mai extremiste pot să-şi dea frîu liber cu consimţămîntul geometrului...

Or, pe de altă parte, gîndirea relativistă, datorită personalităţii iniţiatorului ei şi motivelor cercetării sale, era mai curînd, după cum dovedesc *Kosmologische Betrachtungen*, monistă şi raţionalistă. Poate că nimeni după Laplace nu mai crezuse atît de mult în Univers ca Einstein. Exista deci în interiorul sistemului conceptual al relativităţii un fel de fisură.

Aici se găseşte fără îndoială ceea ce motivează profund, dincolo de problematica particulară a lui Einstein, moştenită de la Mach şi determinată parţial de critica mecanicismului, renaşterea interesului pentru problema Universului în al doilea sfert al secolului al XX-lea. Conceptul de univers trebuia pus în discuţie, problema reprezentării sale matematice trebuia să fie pusă, o dată ce se stabilise că geometria euclidiană şi cinematica galileiană nu mai puteau furniza cu siguranţă *substratum*-ul metric indispensabil descrierii fenomenelor fizice.

C. Deschiderea lui de Sitter : o nouă reprezentare a Universului

La mai puţin de două luni după publicarea lucrării lui Einstein, *Kosmologische Betrachtungen*, de Sitter punea în discuţie rezultatul obţinut şi deschidea un drum nou în dezbaterea Universului [2]. Aşa cum se întîmplă deseori în împrejurări de acest fel, istoria este

---

[1] H. WEYL, *Temps, Espace, Matière*, Blanchard, 1921, reeditată în 1958, Paris, pp. 239–241. Gödel va exploata, mult mai tîrziu, aceste remarci în cosmologie; vezi mai departe, p. 264

[2] Lucrarea *Kosmologische Betrachtungen* a fost prezentată în şedinţa din 8 februarie 1917 a Academiei din Berlin. Memoriul lui de Sitter a apărut în acelaşi an în numărul din 31 martie al Comunicărilor Academiei de Ştiinţe din Amsterdam.

chiar puţin nedreaptă dîndu-i prioritate absolută lui Einstein în acest domeniu, pentru că dialogul dintre el şi de Sitter în legătură cu problema inerţiei începuse din 1916, aşa cum Einstein a menţionat în mod expres în *Consideraţiile cosmologice* : în parte tocmai pentru a răspunde provocării lui de Sitter căutase Einstein cu atîta îndîrjire soluţii ale ecuaţiilor cîmpului compatibile cu principiul relativităţii inerţiei şi demonstrase totala lor imposibilitate (lucru de care de Sitter era convins dinainte).

Oricum ar fi, de Sitter a scos în evidenţă clar fragilitatea deducţiilor lui Einstein, demonstrînd că ecuaţiile cîmpului în noua lor formă, cu termenul Λ, admiteau o altă soluţie decît cea a lui Einstein dacă se presupunea că spaţiu-timp-ul este *vid*. Această soluţie va deveni celebră sub numele de „modelul lui de Sitter". Spre deosebire de modelul lui Einstein, ale cărui proprietăţi geometrice sînt atît de simple şi de armonioase, Universul lui de Sitter a apărut mult timp ca o adevărată ciudăţenie matematică. El ascundea atîtea enigme şi suscita atîtea miraje încît chiar şi Einstein şi Weyl s-au lăsat furaţi de el şi i-au atribuit la un moment dat anumite proprietăţi imaginare.

Dar, în parte tocmai din pricina acestei ciudăţenii, în parte din alte motive, discuţia completă a modelului lui de Sitter a reţinut atenţia tuturor teoreticienilor cosmologiei ani de zile : Einstein, Friedman, Eddington, Lemaître, Lanczos, Tolman au participat la ea şi de-abia în 1929 Robertson şi Weyl i-au pus capăt, mulţumită unei clarificări esenţiale în toate privinţele a postulatelor cosmologiei relativiste. Asupra tuturor acestor lucruri vom reveni, dar mai întîi, ne reţine atenţia gîndirea lui de Sitter.

Există într-adevăr o corespondenţă destul de remarcabilă între proprietăţile enigmatice ale modelului şi spiritul în care acesta a fost conceput. Nu că de Sitter ar fi dorit să stimuleze spiritul matematicienilor alegînd deliberat o metrică plină de surprize ; el îşi prezintă formulele cu toată nevinovăţia, paralel cu cele ale lui Einstein, fără să pară că bănuieşte toate dificultăţile pe care le ascund[1]. Dar motivarea intervenţiilor sale este de aşa natură încît nu ne mirăm de surprizele la care acestea ne conduc.

Într-adevăr de Sitter, fără o aparentă intenţie polemică, dar cu o remarcabilă luciditate — care, în anumite pasaje, pare să dovedească pur şi simplu scepticism — minează profund bazele edificiului cosmologic al lui Einstein ; după el, ipotezele cosmologice ale lui Einstein nu pot fi considerate cu adevărat relativiste. Sfe-

[1] W. DE SITTER, *On the Relativity of Inertia* ; *Remarks Concerning Einstein's Latest Hypothesis*, Koninklijke Akademie van Wetenschappente, Amsterdam, 19, 1917, pp. 1217—25.

ricitatea spaţiului nu poate fi considerată drept o afirmaţie realistă : ceea ce contează din punctul de vedere al relativităţii, nu sînt proprietăţile „reale" ale modelului, ci comportarea sa la transformările matematice :

„La prima vedere, pare inexact să spunem : Universul *este* sferic, pentru că el poate, printr-o transformare analoagă proiecţiei stereografice, să fie reprezentat într-un spaţiu euclidian". Or, o astfel de transformare este permisă, pentru că ea lasă invariante cantităţile care trebuie să rămînă astfel.

Pe de altă parte, de Sitter se leagă şi de „şcoala lui Mach". Einstein, spune el, populează cu materie ansamblul spaţiului tridimensional, dar cantitatea de materie necesară pentru aceasta ar fi enormă în raport cu cea pe care o cunoaştem (de Sitter era astronom) ; aceasta revine deci la a introduce o nouă ipoteză, aceea a unei „materii cosmice" care nu apare decît în virtutea postulatului lui Mach, pentru că ignorăm aproape totul în legătură cu aceasta. La întrebarea : dacă se suprimă toată materia cu excepţia corpului de probă, va avea oare acest corp inerţie ? „şcoala lui Mach" răspunde prin Nu. Totuşi, obiectează de Sitter, dacă prin „toată materia" trebuie să înţelegem aştrii pe care îi observăm, răspunsul este mai curînd Da. „Şcoala lui Mach" este deci constrînsă să admită ipoteza existenţei materiei cosmice ; dar la ce serveşte în final această materie, se întreabă de Sitter destul de subtil, dacă nu la a presupune că ea nu există ?...

Este greu să ne pronunţăm asupra acestei critici a lui de Sitter. Într-un sens, trebuie spus că el nu are dreptate, pentru că telescopul Hooker va aduce, cîţiva ani mai tîrziu, o confirmare atît de spectaculoasă a „materiei cosmice". Şi totuşi, critica merge la baza lucrurilor, evidenţiind un ataşament destul de profund al lui Einstein pentru intuiţiile pe care se sprijinea mecanicismul. Einstein, cu francheţea sa obişnuită, confirmă el însuşi acest ataşament ; primind de la de Sitter manuscrisul memoriului său, el răspunde că, după părerea sa, nici măcar nu se poate concepe o lume fără materie,, . Dimpotrivă, cîmpul coeficienţilor $g_{\mu\nu}$ *trebuie să fie determinat de materie şi să nu poată subzista fără ea*"[1]. Se regăseşte aici, pe scurt, intransigenţa lui Descartes împotriva ideii de vid. Dar, mult mai tîrziu, Einstein va profita de critica lui de Sitter.

Ultima critică pe care o adresează de Sitter lui Einstein — poate cea mai importantă — se referă la legătura dintre spaţiu şi timp : în Universul lui Einstein, timpul ocupă un loc aparte, astfel încît soluţia lui nu satisface integral exigenţa maximă de covarianţă

[1] Acest pasaj este subliniat în textul care este citat de însuşi de Sitter în postscriptumul memoriului pe care îl examinăm.

a teoriei relativității. Într-adevăr, transformînd prin proiecție stereografică spațiul sferic al lui Einstein, de Sitter arată că partea spațială a metricii se anulează la infinit, așa cum și trebuie, dar nu același lucru este valabil pentru coeficientul lui dt^2, ceea ce limitează invarianța la transformările pentru care $t' = t$. Există deci un timp cosmic absolut, fapt în legătură cu care de Sitter nu are nici o obiecție de făcut pe plan fizic, dar pe care îl găsește puțin satisfăcător din punct de vedere matematic, date fiind axiomele pe care este construită teoria relativității.

Ce va rezulta din această critică? Consecințele nu sînt pur negative pentru că de Sitter propune, plecînd de la ea, o soluție de înlocuire, mai conformă după el spiritului teoriei relativității. Dar cum el nu este mai dogmatic în construire decît în demolare, prezintă pe două coloane, în maniera antinomiilor lui Kant, cu formule astfel alese încît să evidențieze în mod clar similitudinile și diferențele, cele două soluții posibile, cea a lui Einstein — sistemul A — și a sa proprie — sistemul B. Preferința sa pentru cea de-a doua se exprimă în mod discret; motivele sale sînt strict matematice.

De fapt el se abate foarte puțin, formal, de la metrica lui Einstein, doar atît cît trebuie pentru ca transformînd metrica prin proiecție stereografică, toți coeficienții, inclusiv cel al lui dt^2, să se anuleze la infinit. Această modificare are consecințe mult mai importante și mai profunde decît au văzut de Sitter și Einstein în acel moment. Există totuși una care le-a apărut foarte clar și a cărei semnificație epistemologică este evidentă: alegerea soluției B (cea a lui de Sitter) duce la o oarecare disjuncție între postulatele fizice și axiomele matematice ale teoriei relativității; căci, evident, în modelul B, care este vid, principiul relativității inerției nu mai este îndeplinit pentru că există o structură metrică fără ca să existe materie. Dar de Sitter nu era dispus să fie de acord cu Einstein că acest fapt este suficient pentru a exclude soluția sa din cadrul conceptual al relativității. După el, există două moduri de a înțelege postulatul relativității inerției: cel al lui Einstein și al său, pe care îl consideră inatacabil din punct de vedere matematic, chiar dacă nu are semnificație fizică evidentă. El se explică în acest sens pe scurt în post-scriptumul memoriului său din 1917 și mai pe larg într-un articol ulterior[1].

Postulatul lui Einstein este că tensorul metric trebuie să fie complet determinat de către materie. De Sitter îl numește *postulatul material* al relativității inerției, iar principiul pe care vrea el

---

[1] *On Einstein's Theory of Gravitation and Its Consequences*, M.N.R.A.S., 78, 1917—18, p. 28.

să-l aplice, ca toate componentele tensorului metric să fie nule la infinit, îl numește *postulatul matematic* al relativității inerției; diferența de adjective exprimă clar diferența punctelor de vedere: Universul lui Einstein este o ipoteză ontologică, un concept de filozof și de fizician; de Sitter îi opune o idee de geometru. Astfel soluția B nu este propusă dogmatic drept o reprezentare superioară din punct de vedere fizic; de Sitter pretinde numai că rămîne mai strict fidel unei anumite axiomatici.

Independent de faptul că Universul pe care îl propunea el nu putea avea, în teoria relativității, decît sensul fizic al unui caz limită, pentru că era vid, exista în raționamentul lui de Sitter ceva bizar. El menținea într-adevăr în ecuațiile cîmpului termenul Λ, privîndu-l însă de semnificația prin care Einstein îi motivase prezența. Satisfacerea „postulatului matematic" al relativității inerției era un cîștig, dar compensa oare acest cîștig pierderea corespunzătoare? De Sitter însuși admitea că „nu se poate nega că introducerea constantei Λ este oarecum artificială și alterează simplitatea și eleganța teoriei originale din 1915, care avea printre trăsăturile cele mai fermecătoare pe aceea de a îmbrățișa totul fără a introduce nici o nouă constantă cosmică"[1].

Sacrificiul putea fi suportabil dacă avem în vedere profunzimea pătrunderii (*insight*)[2] în natura Cosmosului, profunzime care părea să rezulte din el. Devenea mai puțin suportabil cînd beneficiul obținut se rezuma la introducerea unei structuri matematice a cărei semnificație fizică rămînea îndoielnică...

Modelul lui de Sitter era astfel marcat de la început de un fel de nelegitimitate epistemologică; de aici înfățișarea atît de ciudată la prima vedere a acestui model și rolul jucat de discutarea proprietăților sale în elaborarea principiilor cosmologiei moderne. În ceea ce privește adevăratul său sens fizic, el nu s-a revelat decît mult mai tîrziu: este vorba de generarea continuă de materie într-un Univers infinit, aflat în expansiune indefinită, și totuși mereu identic sieși în înfățișările sale la scară mare.

D. Enigmele Universului lui de Sitter și învățămintele ce se pot trage din el

În orice caz, după cum se știe, proprietățile Universului lui de Sitter au părut mult timp enigmatice și faptul că unui geometru atît de eminent ca Weyl i-a trebuit un anumit timp pentru a-l

---

[1] *Ibid.*, p. 18.
[2] În limba engleză, în original. — *N.T.*

înțelege, și încă mai mult pentru a se face înțeles, reprezintă o ocazie remarcabilă de mirare și instruire pentru istoric.

Dacă se iau în considerație motivele matematice ale acestor îndelungate tatonări în studiul unei geometrii care pare astăzi lipsită de orice mister, ele sînt cu atît mai surprinzătoare cu cît se referă în parte la alegerea coordonatelor care fuseseră preferate la început pentru studiul modelului : această alegere rezulta din efectul de simetrie pe care îl căutase de Sitter în Universul lui Einstein și avea tendința de a masca cele mai importante proprietăți intrinseci ale structurii[1]. Totuși calculul tensorial a fost special creat pentru a face geometria independentă de alegerea coordonatelor ; dar tocmai prin perfecțiunea sa acest instrument algebric poate șterge detaliile semnificative din punct de vedere fizic al unei anumite structuri.

În ceea ce privește Universul lui de Sitter, mai multe motive, strîns legate unul de altul, contribuie la mascarea a ceea ce ar fi fost oportun să se vadă.

1. De Sitter dorise să-i răspundă lui Einstein ; căutînd un contraexemplu, el l-a prezentat astfel încît să reiasă un fel de simetrie între cele două reprezentări ale Universului. Mult timp s-a admis implicit că acestea erau cele două soluții alternative ale problemei cosmologice și nimeni nu a remarcat înaintea lui Friedman, care nu a fost citit și înțeles decît mai tîrziu, că există o infinitate de soluții avînd proprietățile de simetrie și de omogenitate ale primelor două soluții. Aceasta conduce direct la al doilea motiv.

2. Einstein postulase că materia este statistic în repaus și, în consecință, că tensorul metric al varietății riemanniene a Universului este independent de variabila timp. Or, cu tot radicalismul său, și poate tocmai din cauza lui, critica lui de Sitter nu incrimina suficient de explicit dubla prejudecată care stătea la baza primei cosmologii a lui Einstein : că există un timp cosmic *și* că, raportată la acest timp cosmic, metrica spațiului este constantă. Poziția lui de Sitter era următoarea : în teoria relativității, nu este permis să se vorbească de un timp cosmic. Dar poziția „justă”, cel puțin cea pe care ar trebui să fie construită cosmologia relativistă și singura care ar putea face să se înțeleagă clar proprietățile Universului lui de Sitter, era următoarea : este permis să se distingă un timp cosmic, *dar*, raportată la acest timp cosmic, metrica spațiului nu este în general constantă și, în particular, nu este astfel în modelul lui de Sitter.

---

[1] Anexa, VI, ec. 66.

Așa încît, contrar gîndirii originare a lui de Sitter, pentru care această expresie nu putea, la propriu vorbind, să aibă sens, acest model a fost considerat inițial ca o soluție *statică* și era reprezentat în general într-un sistem de coordonate în care coeficienții metricii sînt toți independenți de timp[1]. Chiar și Friedman îl mai prezenta în același mod. Dar modelul lui de Sitter nu este *static* în același sens ca cel al lui Einstein; el este, așa cum spune Couderc, „pseudostatic" sau, cum spune Robertson, „staționar"[2].

În plus, simetria echivocă și înșelătoare dintre cele două modele a făcut ca modelul lui de Sitter să apară ca spațial închis, în timp ce această proprietate nu aparținea intrinsec modelului. În Universul lui Einstein, nu este posibil să se aleagă coordonata temporală în așa fel încît spațiul să apară ca infinit. Dimpotrivă, o astfel de alegere este posibilă în Universul lui de Sitter; spațiul este atunci euclidian.

3. În sfîrșit, considerat ca soluție a ecuațiilor relativității generalizate, Universul lui de Sitter este vid. Or, acest fapt face ca separarea dintre spațiu și timp să nu mai fie determinată fizic. Cel care a remarcat cu profunzime acest lucru este Lemaître: „Prezența materiei are ca efect determinarea unei separări naturale a Universului în spațiu și timp"[3]. Lăsînd pentru moment la o parte problema de a ști dacă această separare poate fi *cosmică*, este evident că o existență fizică durează și că, asociind acestei existențe sau uneia din părțile sale un observator considerat în repaus, se poate întotdeauna distinge o variabilă temporală în *continuum*-ul metric. În vid, lipsește orice pretext ontologic pentru a alege în oricare loc o separare oarecare între spațiu și timp, în afară de cazul cînd se recurge la o pură convenție.

Pentru a face lucrurile mai clare, vom introduce, în mod excepțional, în desfășurarea noastră cîteva remarci matematice.

Fie cele două metrici riemanniene[4]:

$$ds^2 = c^2\, dt^2 - R_e^2(d\chi^2 + \sin^2\chi\, d\theta^2 + \sin^2\chi\, \sin^2\theta\, d\varphi^2), \quad (A)$$

$$ds^2 = c^2 \cos^2\chi\, dt^2 - R_s^2(d\chi^2 + \sin^2\chi\, d\theta^2 + \sin^2\chi\, \sin^2\theta\, d\varphi^2). \quad (B)$$

Metrica (A) reprezintă Universul lui Einstein, iar (B) — Universul lui de Sitter, în „aceleași" coordonate, așa cum se obișnuia să se scrie pînă în 1928. Se vede că atît (B) cît și (A) reprezintă

---

[1] Anexa, VI, ec. 66.
[2] Anexa, VI, B, 2.
[3] G. LEMAÎTRE, *L'Hypothèse de l'atome primitif*, Griffon, Neuchâtel, 1964, p. 64.
[4] Anexa, VI, ec. (61, 66).

sub această formă o metrică statică: coeficienţii lui dt, $d\chi$, $d\theta$, $d\varphi$ sînt independenţi de t(R_e şi R_s sînt constante). Pe de altă parte, folosirea coordonatei unghiulare χ, care nu intervine decît prin funcţii trigonometrice, sugerează ea însăşi circularitatea, închiderea liniilor de spaţiu alese drept coordonate. Metrica (B) pare deci să reprezinte, ca şi (A), un Univers în care spaţiul este închis; singura diferenţă dintre cele două metrici este prezenţa termenului $\cos^2\chi$ în coeficientul lui dt^2, în metrica (B). Dar această singură prezenţă este suficientă pentru a face înşelătoare analogia dintre (A) şi (B). Rezultă, într-adevăr, că variabila t în (A) nu poate avea acelaşi sens geometric şi fizic ca variabila t în (B); în (A), t este *timpul cosmic*, în (B) însă nu este *timpul cosmic*. Iată ce înseamnă aceasta:

În Universul lui Einstein (A), materia nu are, la scară mare, decît mişcări cu viteză mică şi cu totul dezordonate; din punct de vedere statistic, ea este în repaus. Rezultă că peste multiplicitatea timpurilor proprii pe care o antrenează local efectele relativităţii, se impune un timp cosmic de măsură universală: pe acesta l-ar măsura un orologiu asociat în permanenţă unui reper în care materia este în repaus mediu. Acest timp este desemnat de coordonata t în formula (A). Dar, în Universul vid al lui de Sitter, nici o caracteristică fizică nu permite să se distingă o astfel de coordonată de timp. Totuşi, după Weyl, este posibil, aşa cum vom vedea mai departe, să se aleagă o coordonată care, datorită proprietăţilor curbelor cărora le este asociată, este echivalentul *geometric* al timpului cosmic al Universului lui Einstein: dar *aceasta nu este coordonata t care figurează în* (B).

Aici se află cauza tuturor consecinţelor ciudate care se pot deduce din metrica (B). Să facem, spre exemplu, în (B), $\chi = \frac{\pi}{2}$.

Pentru un observator situat în origine, aceasta corespunde ansamblului de puncte situate la o distanţă egală cu un sfert din „circumferinţa lumii". Pe această „hipersuprafaţă"

$$ds^2 = -R_s^2(d\chi^2 + d\theta^2 + \sin^2\theta\ d\varphi^2) \qquad (B')$$

(pentru că atunci $\cos^2\chi = 0$, $\sin^2\chi = 1$).

Or, după o axiomă a teoriei relativităţii, pe traiectoriile razelor de lumină în vid trebuie să avem $ds = 0$; dar, după (B') aceasta nu se poate produce decît dacă $d\chi$, $d\theta$, $d\varphi$ sînt toate nule. Altfel spus, pe această hipersuprafaţă, nici lumina şi nici o altă acţiune fizică

nu se pot propaga[1] : ca şi cum o frontieră de netrecut ar bloca orice semnal şi orice mişcare. Totuşi, nimic nu distinge intrinsec această hipersuprafaţă în Univers ; poziţia sa depinde într-adevăr de cea a originii, care este arbitrară : este vorba de un „orizont".

Or, acest orizont nu are numai un sens geometric, ci şi un sens dinamic : supunînd unei discuţii riguroase, încă din 1918, modelul lui de Sitter — a cărui simplă posibilitate însemna eşecul cel puţin parţial al propriei sale cosmologii — Einstein remarca faptul că singularitatea de pe „sfera" $\chi = \frac{\pi}{2}$ ducea la îndoieli în ceea ce priveşte posibilitatea ca modelul lui de Sitter să reprezinte o soluţie a problemei cosmologice. Einstein arată într-adevăr că, tradus în termeni dinamici, „orizontul temporal", sau oprirea cursului lucrurilor pe hipersuprafaţa $\chi = \frac{\pi}{2}$, este echivalent cu o acumulare de masă pe această „sferă" : Universul pe care de Sitter îl consideră vid, este vid în oricare altă parte, dar nu aici ; el nu este deci omogen şi nu satisface postulatul uniformităţii pe care fiecare era de acord să-l pună la baza cosmologiei[2].

Toate acestea nu erau decît iluzii rezultate din falsa simetrie dintre (A) şi (B). Dar aceste miraje nu s-au risipit decît încetul cu încetul, pe măsură ce s-a dezvăluit esenţialul, şi anume că metrica lui de Sitter este „pseudostatică". Lanczos arătase, începînd din 1922, că „orizontul masei" al lui Einstein dispărea la o anumită schimbare de coordonate prin care metrica încetează de a mai fi statică[3]. Cam în acelaşi timp, aşa cum am spus, Eddington şi Wirtz înţeleseseră de-acum că *deplasarea spre roşu a* nebuloaselor era un efect sistematic şi îi căutau explicaţia, fără succes dealtfel, în metrica lui de Sitter. Dar acestea nu erau deocamdată decît încercări lipsite de perspectivă şi a trecut mult timp pînă cînd problema s-a maturizat.

Este adevărat că, în afara faptului că conceperea unui Univers nestatic se loveşte de o prejudecată fundamentală a cărei prezenţă

---

[1] Pentru lumină condiţia este $ds = 0$; pentru orice altă acţiune fizică, $ds^2 > 0$; vezi Anexa, II.

[2] *Kritisches zu einer von Herrn de Sitter gegebenen Lösung der Gravitationsgleichungen*, Sitzungsberichte der preussischen Akademie der Wissenschaften, 1918, pp. 270—272.

[3] K. LANCZOS, *Bemerkungen zur de Sitterlischen Welt*, Physikalische Zeitschrift, 23, 1922, p. 336. În acelaşi timp, Eddington punea de asemenea în evidenţă caracterul pseudostatic al modelului, fără a propune totuşi explicit o schimbare de coordonate pentru timp. El se arăta, dealtfel, mai puţin categoric decît Lanczos în ceea ce priveşte faptul că orizontul masei nu era în realitate decît un miraj.

activă am constatat-o deja la spiritele cele mai alese, ideea că o structură geometrică vidă ar putea fi nestatică nu se poate forma cu ușurință, datorită acelei intuiții elementare care asociază temporalitatea cu existența fizică. Singurul sens traductibil în termenii experienței fizice care i se poate da este probabil acesta : dacă în vidul cosmic se introduc corpuri de probă, ele vor tinde să se disperseze. Sau, pentru a folosi limbajul lui Weyl, în Universul lui de Sitter „o tendință naturală de dispersare este inerentă materiei[1]". Dar trebuia să fii Weyl pentru a înțelege și a spune aceasta ; pentru că nimic nu este mai contrar filozofiei naturale a relativității, așa cum o concepea Einstein, decît această noțiune a unui Univers vid dotat cu o structură potențială și determinînd oarecum aprioric proprietățile dinamice ale materiei care se introduce în el, inducînd în ea un fel de mișcare spontană.

Mișcare reală sau mișcare aparentă? Cu Einstein, cosmologia se mai afla încă pe o bază solidă de intuiții realiste ; cu modelul lui de Sitter, ea era amenințată să alunece, dacă nu spre iluzionism, cel puțin spre idelism, care va deveni mai tîrziu una din tentațiile sale. Fără a fi propriu-zis static, fiind vid dar nu neutru, virtual activ asupra oricărei materii pe care am dori s-o punem în el, rezultat al unei aparente simetrii, soluție nelegitimă a unei ecuații nelegitime, Universul lui de Sitter era deci un curios complex de echivocuri, care purta totuși în el viitorul gîndirii cosmologice. Este ușor de înțeles acum care era adevăratul conținut al acestei cutii cu secrete. Teoria stării staționare (*Steady State Theory*)[2] îi conferă semnificația fizică : generarea continuă de materie într-un Univers staționar, în care fiecare element se naște, trăiește și durează indefinit, dar în care înfățișarea ansamblului rămîne imuabilă. Dacă se refuză aceste consecințe, contrare axiomelor relativității generalizate, Universul lui de Sitter nu mai este decît cazul limită, la infinit în viitor, al unui anumit tip de univers în expansiune, așa cum a arătat Lemaître.

Este mai puțin ușor de explicat cum și de către cine au fost descoperite cheile și deschise sertarele. În adevăr, dacă există, geometria și fizica Universului lui de Sitter nu puteau fi elucidate decît o dată bine definite datele și soluțiile problemei cosmologice. Pe de altă parte însă, această discuție de ansamblu trecea aproape în mod necesar prin studiul modelului lui de Sitter și este dificil din punct de vedere istoric să se discearnă între contribuția cercetărilor

[1] H. WEYL, *Zur allgemeine Relativitätstheorie*, Phys. Z., 24, 1923, p. 230.
[2] În limba engleză, în original. — *N.T.*

privind problema generală și a acelora care vizau în special acest model.

Se impun atenției patru nume: Friedman, Weyl, Lemaître și Robertson. Contribuția ultimilor doi este relativ ușor de caracterizat. Participarea lui Lemaître a fost importantă în discutarea modelului lui de Sitter[1] și el a explicitat după Friedman, dar independent de acesta, o soluție cosmologică nestatică a ecuațiilor lui Einstein. Dar principala sa contribuție originală a fost aceea de a asocia unui model matematic o viziune fizică și filozofică asupra lumii, apoi o cosmogonie, de a scoate „Universul în expansiune" din domeniul abstracției pure. În ceea ce privește memoriile lui Robertson din 1928 și 1929, ele reprezintă un fel de apoteoză, triumful clarității conceptuale și al eleganței geometrice, ascensiunea gîndirii cosmologice la cel mai înalt grad de perfecțiune matematică de care era capabilă.

Dar în 1922–24 se juca o partidă mai dură. Friedman a fost primul care a propus soluția generală a problemei cosmologice în cadrul relativității generalizate și lui îi datorăm descoperirea capitală a faptului că, împreună cu ipotezele din lucrarea *Kosmologische Betrachtungen* a lui Einstein, ecuațiile relativiste ale cîmpului se reduc la un sistem de două ecuații diferențiale care admit o infinitate de soluții, spațial deschise sau spațial închise, în care metrica spațiului este funcție de timpul cosmic. Opera sa a fost timp de mai mulți ani ignorată sau nerecunoscută. În afara unui evident ghinion (Einstein a citit primul memoriu al lui Friedman, s-a înșelat, s-a scuzat, apoi a tăcut timp de opt ani; cînd a vorbit din nou, opera lui Friedman era unanim recunoscută, dar autorul murise[2]), existau în construcția lui Friedman anumite imperfecțiuni și, mai ales, o anumită tăcere care explică în parte faptul că importanța sa nu a fost înțeleasă: Friedman nu spune nimic despre decalajul spectral al luminii care rezultă direct din ipoteza unei metrici nestatice și care dă cheia deplasării spre roșu a nebuloaselor.

Weyl, în schimb, a arătat clar în 1923, în legătură cu Universul lui de Sitter, că o metrică riemanniană implică în general un decalaj spectral al luminii și că în particular un astfel de decalaj spre roșu trebuie să se observe într-un Univers de Sitter. El dădea

---

[1] El a descoperit în 1925 transformarea de coordonate care, dînd metricii lui de Sitter forma considerată de acum înainte canonică, a făcut ca modelul să apară nestatic și spațial euclidian, ceea ce l-a condus la a-l respinge ca reprezentare a lumii reale, nu pentru că era nestatic, ci pentru că era infinit..., *Note on de Sitter's Universe*, J. of Math. and Phys., M.I.T., 4, 1925, pp. 188–192.

[2] În ceea ce privește această eroare a lui Einstein, cauzele și consecințele sale, vezi mai departe, p. 78.

pe de altă parte, în legătură cu acest model, o expresie ipotezei timpului cosmic, independentă de imaginea prea simplă și prea particulară a „materiei în repaus"[1]. Dar în ciuda memoriului lui Friedman, pe care poate nu îl cunoștea, el persista în a considera că, în afara spațiu-timp-ului lui Minkowski, modelul lui Einstein și modelul lui de Sitter sînt singurele soluții cosmologice ale ecuațiilor relativiste ale cîmpului.

Trebuie să ne oprim un moment asupra acestor cercetări oarecum complementare ale lui Friedman și Weyl, datorită progresului pe care îl marchează și una și cealaltă în gîndirea cosmologică în curs de formare, dar începînd cu cea de-a doua pentru că ea apare direct din discutarea Universului lui de Sitter.

Memoriul lui Weyl din 1923[2] este foarte dificil pentru orice cititor care nu este un geometru exersat. Chiar Tolman și Robertson au avut nevoie pentru a-l înțelege exact de cîteva explicații care le-au fost furnizate de autor verbal și în scris[3]. Weyl „vedea", fără aparentă dificultate, Universul lui de Sitter în cele patru dimensiuni ale sale „tivindu-se" la infinit. El separa în acest Univers secțiuni tridimensionale și familii de curbe și găsea natural să aleagă o origine și coordonate în funcție de această separare, acordînd pentru aceasta încredere intuiției cititorului. Privire de geometru și privire de filozof : ceea ce îl interesează în primul rînd, în legătură cu „sfera" lui de Sitter, este de a delimita pornind din fiecare punct *Wirkungsbereich*-ul său, domeniul său de acțiune efectivă, ansamblul punctelor care pot fi în conexiune cauzală cu punctul ales. Deoarece echivalentul geometric al unui sistem material trebuia să se găsească în definitiv în acest Univers vid : numai legătura cauzală, regulată și orientată, putea furniza un criteriu pentru alegere. Subansamblul geometric care conține în mod virtual materia trebuie să facă din sistemul de particule materiale un adevărat Univers, asigurînd posibilitatea unei legături cauzale a punctelor între ele, două cîte două, oricare ar fi ele. Cel puțin spre trecut (legătura cauzală *a fost* posibilă) ; căci, spre viitor — și Weyl este primul care a spus acest lucru — particulele materiale în Universul lui de Sitter se deconectează definitiv unele de altele într-un anumit moment al istoriei lor[4].

Astfel, Weyl alege o familie de geodezice care pe varietatea de Sitter trasează traiectoriile virtuale ale *substratum*-ului material

---

[1] Explicitarea acestei ipoteze, care lipsea la acea dată la Eddington, reprezintă adevărata originalitate a memoriului lui Weyl.

[2] *Zur allgemeine...*, *mem. cit.*

[3] *Red-shift and Relativistic Cosmology*, Phil. Mag., 9, 1930, p. 936.

[4] Anexa, VI, B, 2.

al Universului. De aici apar următoarele consecinţe importante: această alegere distinge clar, într-un mod pur geometric, un timp cosmic, un parametru universal asociat traiectoriilor de univers ale materiei. Dincolo de critica lui de Sitter, ipoteza cosmologică a lui Einstein este deci restabilită. Ea a fost purificată însă de orice referire implicită la „durata" materiei, la „repausul" cosmosului şi a devenit astfel disponibilă pentru modele de univers a căror metrică nu este statică şi în legătură cu care intuiţiile duratei şi ale permanenţei nu mai au valoare.

Pe de altă parte, odată separate în Universul lui de Sitter geodezicele lui Weyl şi odată plasate particulele de probă pe ele, apare deplasarea spre roşu: aceasta era prima explicaţie teoretică coerentă a efectului observat la Mount Wilson. Nu mai rămîne în acest caz pentru elucidarea completă a cosmologiei de sitteriene decît să se găsească sistemul de coordonate cel mai potrivit care să faciliteze apariţia directă a proprietăţilor sale esenţiale: este tocmai ceea ce vor face independent unul de celălalt Lemaître şi Robertson.

Caracterul şi valoarea raţionamentelor lui Weyl sînt bine puse în lumină, din contra, de o încercare nefericită a lui Tolman, care prezintă de asemenea interes ca prefigurare a dezvoltării teoriei stării staţionare.

Puţin convins de raţionamentele lui Weyl, la care el nu aprecia în mod evident metoda geometrică şi filozofică, Tolman a încercat pe cont propriu, urmînd o cale de abordare mult mai inductivă, să elucideze problema confruntării Universului lui de Sitter cu observaţiile; fără succes în cele din urmă, după cum el însuşi a recunoscut dealtfel. Ipotezele sale nu permit deducerea unui decalaj spectral sistematic şi orientat întotdeauna în acelaşi sens[1].

Tolman plecase de la constatarea că distribuţia uniformă a materiei-martor în spaţiu şi existenţa unui decalaj spectral sistematic nu rezultă din metrica lui de Sitter decît dacă acesteia i se adaugă ipoteze restrictive, singurele care pot permite să se asigure corespondenţa dintre proprietăţile modelului şi cele ale Universului observat. Dar în loc să raţioneze ca Weyl, direct asupra structurii geometrice a modelului şi să se sprijine pe o ipoteză apriorică de coerenţă cauzală, Tolman a ales, mai empiric, un principiu plauzibil: observăm acum anumite trăsături ale fizionomiei cosmice; ipoteza „cea mai naturală" constă în a presupune că aceste trăsături rămîn aproximativ permanente (această presupunere nu se

---

[1] *On de Sitter's Universe*, Astrophysical Journal, 69, 1929, p. 245 şi Rel. Therm. and Cosm., Oxford, 1934, ed. a III-a, 1958, p. 356.

impune încă deloc, pentru Tolman ; am putea dori să minimalizăm importanța stării actuale și am fi perfect îndreptățiți să vedem aici efectul unor fluctuații trecătoare).

Trebuie să rezulte de aici că dispersarea materiei — inevitabilă, după cum am văzut — în cadrul structurii de sitteriene, este compensată de „intrarea continuă" de materie în cîmpul nostru vizual, ceea ce nu este exclus din punct de vedere geometric, pentru că lumea observabilă nu poate fi în orice caz decît o parte a modelului. Dacă confruntăm această ipoteză cu cea a lui Weyl, vedem că legătura cauzală în loc să fie axiomatică, este pur și simplu plauzibilă. În lume pot exista o infinitate de lucruri între care nu se poate concepe nici o interacție : conceptul de univers nu implică în sine nici o condiție de structură determinată, nici măcar pe aceea de a fi cu adevărat Universul. Acesta poate fi un sistem în care se intră și prin care se trece și, dealtfel, poate fi orice, cu condiția ca înfățișările pe care ni le prezintă să fie întemeiate rațional ca urmare a unei anumite regularități, cel puțin statistice.

Dar inconvenientul ipotezei lui Tolman — slăbiciunea sa în sensul logic al cuvîntului — apare atunci cînd este vorba de consecințele sale asupra propagării luminii. Tot ceea ce se poate conchide este că trebuie să observăm mai frecvent decalaje spectrale spre roșu decît spre violet, ceea ce evident nu este suficient pentru a conduce la înțelegerea faptelor observate. Ipoteza lui Weyl dă, dimpotrivă, direct tot ceea ce este necesar : elaborată aprioric, prealabil oricărei referiri directe la faptele observate, ea le fundamentează cu toate acestea mult mai bine.

Totuși ipoteza „intrării continue" corespunde pînă la un anumit punct logicii proprii a modelului. Destul de curios, ea precede cu douăzeci de ani generarea continuă de materie a autorilor teoriei stării staționare, asociată și ea metricii lui de Sitter. Dealtfel, Tolman însuși avusese în vedere pentru moment generarea continuă de materie. Diferența este totuși cea dintre o încercare fără perspectivă și o teorie contestabilă și contestată, dar remarcabil de coerentă. Pentru a ajunge la teoria stării staționare, mai întîi trebuie aplicat modelului lui de Sitter principiul lui Weyl, tocmai cel pe care Tolman dorise să-l evite datorită caracterului său aprioric. Pe de altă parte, în loc să considerăm, ca Tolman, permanența aproximativă a Universului observat drept o presupunere plauzibilă, trebuie să facem din aceasta o adevărată axiomă. În afara evidentului decalaj istoric, exista și o importantă distanță epistemologică între Tolman, pe de o parte și Bondi și Gold, pe de alta. Tolman era empirist prin metodă și chiar prin religie ; orice afirmație apriorică îi părea suspectă și aproape nepotrivită. Dar cosmolo-

gia se lipsește greu de aserțiuni apriorice, așa cum o dovedește tocmai neputința lui Tolman de a obține ceva din metrica lui de Sitter. Dealtfel va trebui să revenim asupra acestui conflict frapant existent în gîndirea lui Tolman și, în general, între intențiile cosmologice și interdicțiile empiriste.

E. Friedman: abandonarea Universului static

Cosmologia lui Friedman, prima în care ipoteza pînă atunci implicită a Universului static este abandonată explicit, a fost expusă în două memorii relativ concise, publicate respectiv în 1922 și în 1924 în Zeitschrift für Physik[1]. Datorită importanței lor istorice și pentru că formează un ansamblu deosebit de coerent și, în anumite privințe, definitiv, vom începe prin a le analiza.

În primul său articol, Friedman își propune să deducă structura geometrică a Universului din anumite ipoteze și să dovedească, pornind de la ele, posibilitatea existenței unui spațiu cosmic cu curbură constantă (adică independentă de punctul ales în spațiu) dar *putînd să depindă de timp*. El presupune implicit în acest prim articol că această curbură este pozitivă.

Friedman precizează că ipotezele sale sînt de două feluri (distincție pe care nu o găsim nici la Einstein, nici la de Sitter): un grup de ipoteze care se pot numi fizice. Este vorba de aceleași ipoteze pe care le întîlnim la Einstein și de Sitter: raportul dintre metrică și starea materiei este definit de ecuațiile cîmpului cu termenul în Λ); materia este repartizată uniform în spațiu; vitezele locale sînt mici în raport cu viteza luminii. Dar acestui prim grup el îi adaugă un al doilea, care se referă „la caracterul general și, ca să ne exprimăm astfel, geometric al lumii", la a considera că spațiul are o curbură constantă (în orice punct dar nu în mod necesar în orice moment) și că pot fi alese astfel de coordonate încît timpul să fie ortogonal spațiului (absența termenilor de forma g_{10}, g_{20}, în coeficienții metricii)[2].

Plecînd de aici calculul se desfășoară fără surprize și îi permite lui Friedman să regăsească mai întîi, ca niște cazuri particulare, cele două modele, al lui Einstein și al lui de Sitter (singurele soluții staționare ale problemei cosmologice). Apoi, în cazul general, apli-

---

[1] A. FRIEDMAN, *Ueber die Krümmung des Raumes*, Zeitschrift für Physik, 10, 1922, p. 377 și *Ueber die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung*, Zeitschrift für Physik, 21, 1924, p. 326.

[2] Anexa, IV, C și VII, ec. 72.

cînd ecuaţiile cîmpului pentru cazul densităţii uniforme (Friedman presupune întotdeauna presiunea nulă în modelul său), el obţine o ecuaţie diferenţială în R, $\dot{R}$, $\ddot{R}$ (R fiind raza de curbură a spaţiului, funcţie numai de timp[1]), care va rămîne una din relaţiile fundamentale ale cosmologiei relativiste. Discuţia acestei ecuaţii îi indică lui Friedman posibilitatea existenţei a trei tipuri de univers cu rază variabilă, după cum se consideră valoarea lui Λ; din care două tipuri monotone, în expansiune indefinită. În primul, expansiunea a început la o distanţă finită în trecut, Universul fiind atunci în starea singulară de rază nulă. În cel de-al doilea, expansiunea începe pornind de la un minim finit atins asimptotic pentru $t = -\infty$. Cel de-al treilea tip, al lui Friedman, este periodic: raza creşte pornind de la valoarea zero pînă la un maxim finit, apoi descreşte[2].

În ceea ce priveşte acest Univers periodic, Friedman observă că sînt posibile două ipoteze asupra a ceea ce s-ar putea numi — aceasta nefiind însă expresia pe care o utilizează el — topologia timpului: dacă convenim să identificăm două puncte din spaţiu-timp ale căror coordonate spaţiale sînt identice şi ale căror coordonate temporale diferă printr-un multiplu întreg al perioadei, trebuie să spunem că „timpul existenţei cosmice este finit". Dacă, dimpotrivă, convenim să nu identificăm două puncte din spaţiu-timp decît dacă toate coordonatele lor sînt identice, atunci timpul cosmic este infinit şi Universul este un sistem cu adevărat periodic. Friedman consideră pînă la urmă cunoaşterea noastră asupra Universului real prea imperfectă pentru a se putea încerca identificarea lui cu vreunul din modelele teoretice. Trebuie amintit că în acest prim articol Friedman presupunea curbura constantă a spaţiului drept pozitivă şi spaţiul drept sferic sau eliptic, aşa cum este acesta în cosmologia lui Einstein şi a lui de Sitter.

În cel de-al doilea articol, fără să modifice în alte privinţe ipotezele sale, Friedman extinde discuţia la cazul în care curbura constantă este negativă[3], adică spaţiul este infinit. Apare în primul rînd o deosebire importantă faţă de primul caz: nu există Univers staţionar de curbură negativă a cărui densitate să fie pozi-

---

[1] Vezi Anexa, V, ec. 57. Cînd curbura este pozitivă, se poate vorbi de o „rază de curbură".

[2] Anexa, VI, C, 2.

[3] Pentru a fixa în mod grosier ideile, putem face analogia cu suprafaţa Pămîntului: în vîrful unei coline sau pe fundul unei văi, curbura este pozitivă. Aceasta corespunde faptului că părăsind colina (sau fundul văii) trebuie în mod necesar să coborîm (sau să urcăm); într-o trecătoare, dimpotrivă, curbura este negativă: putem să o părăsim coborînd sau urcînd.

tivă, Universul lui Einstein fiind într-adevăr singurul Univers staţionar care conţine materie. În schimb, dacă densitatea este nulă, este posibil un Univers de curbură negativă, analog cu modelul lui de Sitter.

În cazul nestaţionar, Friedman obţine o ecuaţie diferenţială analoagă celei pentru spaţiul de curbură pozitivă. Discuţia demonstrează posibilitatea existenţei unui Univers de curbură negativă, funcţie numai de timp şi de o densitate diferită de zero : acesta este principalul scop al articolului.

Studiul se încheie cu o discuţie scurtă dar interesantă despre caracterul finit sau infinit al spaţiului : discuţiile precedente arată clar că ecuaţiile cîmpului nu sînt suficiente pentru a tranşa această problemă, pentru că ele admit soluţii cu curbură negativă. Dar Friedman observă că nici semnul curburii nu este suficient pentru a decide, căci sînt necesare ipoteze suplimentare în privinţa punctelor care se identifică : dacă pe o sferă euclidiană se disting două puncte a căror distanţă unghiulară pe un cerc mare este un multiplu întreg de 360°, se obţine o suprafaţă sferică cu mai multe foi pe care distanţa dintre două puncte poate fi arbitrar de mare.

Friedman propune ca criteriu de identificare, ceea ce el numeşte ,,principiul spaimei de fantome'' : prin două puncte nu trece decît o geodezică ; dacă trec mai mult de una, cele două puncte trebuie să fie identificate. Astfel, pe o sferă două puncte diametral opuse trebuie să fie identificate (aceasta este versiunea ,,eliptică'' a Universului lui Einstein) ; ,,fantoma'' — adică imaginea produsă de un fascicul luminos — se identifică atunci cu obiectul care a produs-o, de unde numele pitoresc al principiului. Conform acestui criteriu, un spaţiu de curbură constantă pozitivă este finit, în timp ce un spaţiu de curbură negativă nu este finit.

Friedman ajunsese deci, încă din 1922, în mijlocul obscurităţii care domnea încă în ceea ce priveşte principiile cosmologiei şi evident fără nici un fel de date de observaţie (în memoriile sale nu apare nici un cuvînt despre deplasarea spre roşu sau despre regatul nebuloaselor) să se ridice pînă la acel nivel de generalitate matematică şi de claritate a formei de unde prejudecăţile se şterg şi ,,obstacolele epistemologice'' se aplatizează. Totodată apărea îngustimea cadrului în care Einstein dorise să introducă gîndirea cosmologică şi lipsa de consistenţă a criticii lui de Sitter, încă prea fidelă modelului conceptual pe care ea îl contesta. Constanta cosmologică îşi căpăta adevărata sa semnificaţie, pierzînd-o pe aceea pe care Einstein voise să i-o dea. Folosind constanta cosmologică, Einstein voise să închidă spaţiul, dar cel de-al doilea memoriu al lui Friedman arăta că există soluţii spaţial deschise

și pentru $\Lambda \neq 0$. Singurul sens al lui Λ era deci de a permite soluții cosmologice statice ale ecuațiilor lui Einstein, soluții excluse pentru $\Lambda = 0$. Dacă se urmărea obținerea unei reprezentări coerente a Universului cu ecuațiile lui Einstein în prima lor formă, trebuia să se presupună variabilitatea metricii cu timpul și nu închiderea spațiului. Dar atunci, principiul relativității inerției înceta să mai fie valabil în soluțiile cosmologice, ceea ce însemna eșecul lucrării *Kosmologische Betrachtungen* din 1917.

Pentru a ajunge aici, era nevoie printre altele de multă indiferență filozofică în fața ideii de univers și de suficient sînge rece pentru a nu-ți lăsa cercetarea condusă decît de principiul celei mai mari generalități matematice. După cum am văzut, refuzînd din principiu scepticismul lui de Sitter, Einstein manifesta un anumit atașament pentru susținerea Universului închis. Estetica Universului hipersferic va fascina încă multă vreme spiritele.

L. Infeld scria încă în 1949 : „. . .orice matematician, dacă i s-ar permite să aleagă, ar vedea Universul nostru mai curînd închis decît deschis ; într-un astfel de Univers există o frumusețe matematică ce apare atunci cînd avem în vedere o problemă matematică oarecare pe un astfel de fundal cosmologic... Comparată cu Universul închis, lumea deschisă a lui Einstein-de Sitter pare posomorîtă și lipsită de inspirație"[1]. Pentru alții, ca Eddington și Lemaître, o astfel de alegere era impusă de rațiuni filozofice. La popularitatea Universului finit au putut de asemenea să contribuie atracția noutății și acest soi de sfidare la adresa ortodoxiei scientiste reprezentat de reînvierea în plin secol al XX-lea a finitismului (așa cum dimpotrivă, în epoca Renașterii, spiritele înclinate spre heterodoxie puteau fi tentate de imaginea nouă și promițătoare a Universului infinit).

Friedman pare să nu fi încercat niciodată acest entuziasm pentru Universul închis, dar nici aversiunea unui Milne.

Observăm aceeași indiferență a lui Friedman și față de trăsătura cea mai nouă, cea mai surprinzătoare a cosmologiei sale : posibilitatea unei geometrii nestatice. Exista totuși ceva neobișnuit și suspect — așa cum se vede bine din prima reacție a lui Einstein față de memoriul lui Friedman[2] — în ideea soluțiilor nestatice. Lucrul ciudat nu era de a regăsi în cosmologie acel „totul curge", imaginea fluxului universal al naturii, veche fan-

[1] L. INFELD, *On the Structure of our Universe*, în *Einstein, Philosopher Scientist*, editor P.A. Schilp, Tudor Publishing Comp., New York, 1949 ; ed. a II-a, 1951, p. 496 ; despre modelul Einstein-de Sitter vezi mai jos, p. 81 și Anexa, VI, C, 1, fig. III.

[2] Vezi mai jos, p. 79.

tasmă atît de reîntinerită de întreaga filozofie modernă; ciudată era mai curînd asocierea neaşteptată dintre devenire şi geometrie, izbucnirea mobilităţii în structura matematică a lucrurilor atunci cînd întregul aparat al legilor fizice — cu atît de faimoasa şi de supărătoarea excepţie a celui de-al doilea principiu al termodinamicii — tinsese întotdeauna să neutralizeze schimbarea naturală asigurîndu-i reversibilitatea algebrică. Temporalizarea geometriei era într-adevăr ultima idee care le-ar fi putut veni urmaşilor, chiar foarte îndepărtaţi, ai lui Platon. Numai un matematician lipsit de orice pasiune putea să arate fără să rîdă sau să tremure de emoţie, că suma unghiurilor unui triunghi depinde de ziua în care a fost măsurată.

Dar sîngele rece al lui Friedman rezista la orice: închiderea timpului nu îl emoţiona mai mult decît variabilitatea geometriei. Evoluţia Universului este sau monotonă, sau periodică; dacă este periodică, sau se identifică începutul şi sfîrşitul perioadei, sau... Cum să se aleagă? Friedman nu ştie, şi totul pare să indice că nici nu-l interesează...

O atît de frumoasă lipsă de emotivitate cosmologică îi dădea lui Friedman luciditatea indispensabilă pentru a domina o problemă atît de obscură. Aşa se explică poate, în parte, uimitoarea indiferenţă şi nerecunoaştere a cărei victimă a fost Friedman. Nefiind el însuşi mişcat de propriile sale descoperiri, el nu putea comunica cititorilor săi impresia că le-ar propune ceva tulburător.

Absenţa din memoriile lui Friedman a oricărei aluzii la o posibilă verificare, prin observaţii, a ipotezelor sale relevă poate aceeaşi seninătate glacială a matematicianului. În orice caz, acesta este un prilej deosebit de uimire, atunci cînd se cunoaşte urmarea, cînd ne gîndim la Weyl, la Wirtz, la Hubble. Este însă un fapt că în memoriile lui Friedman proprietăţile luminii în universurile cu metrică variabilă sînt complet trecute sub tăcere. Friedman nu vede, nu încearcă să vadă că un efect Doppler structural, universal, izotrop, crescînd cu distanţa, rezultă din variaţia factorului de expansiune, sau de contracţie, R, şi că un astfel de efect ne-ar putea informa asupra realităţii şi sensului acestei variaţii. Este tocmai ceea ce frapează şi dezamăgeşte mai mult pe cititorul de astăzi în aceste memorii: adevăratul inventator al expansiunii cosmice nu a spus că expansiunea trebuie să se vadă, atunci cînd avea la îndemînă previziunea teoretică a celui mai prodigios fenomen astronomic care a fost vreodată observat...

În ceea ce priveşte imperfecţiunile construcţiei teoretice a lui Friedman, ele erau minore; fără îndoială nu ele au fost acelea care au întîrziat momentul în care Friedman urma să fie înţeles

şi puteau să fie trecute sub tăcere. Totuşi ele pun bine în lumină anumite puncte importante din axiomatica cosmologiei contemporane.

Făcînd distincţia între ipotezele *geometrice* şi ipotezele *fizice*, Friedman face un pas important : această idee poate să surprindă, pentru că teoria relativităţii se bazează pe identificarea geometriei cu fizica. De fapt, Friedman avea dreptate : în cosmologie distincţia este inevitabilă şi ea urma să se afirme în continuare încă şi mai categoric. Dar, în raport cu enunţul definitiv pe care urma să îl dea Robertson sistemului de axiome pe care se bazează cosmologia lui Friedman, axiomatica explicită a acestuia din urmă pare subdezvoltată ; aceasta se referă mai ales la ipoteza timpului cosmic. Friedman o introduce în mod corect şi satisfăcător din punct de vedere tehnic, ca pe o convenţie, aceea că există întotdeauna o schimbare de coordonate care anulează în mod identic coeficienţii g_{oi}[1]. Dar timpul cosmic este în acest caz prezentat ca o pură convenţie, al cărei sens geometric şi fizic nu este explicitat, un aranjament de matematician. Nu se vede cu claritate ceea ce rezultă de aici pentru mişcările materiei, dacă ipoteza este fructuoasă pentru observaţii, cum se situează în raport cu axioma generală de covarianţă din teoria relativităţii. Pe de altă parte, Friedman nu foloseşte sistematic coordonatele comobile, care dau expresia cea mai directă ipotezelor timpului cosmic, izotropiei şi omogeneităţii. Din această cauză el pune încă pe picior de egalitate modelul lui Einstein şi modelul lui de Sitter, descrise ambele drept „staţionare'', fără a preciza că ele nu sînt deloc astfel în acelaşi sens al acestui cuvînt.

În sfîrşit, o imperfecţiune minoră, Friedman presupune întotdeauna în modelul său că presiunea este nulă, fapt fără consecinţe grave din punct de vedere geometric, dar care tinde să mascheze, aşa cum vom vedea, proprietăţile termodinamice cele mai remarcabile ale universurilor relativiste [2].

---

[1] Vezi Anexa, VII, ec. 72 şi comentariul.
[2] Vezi Anexa, V, ec. 58.

Capitolul III

COSMOLOGIA RELATIVISTĂ: OPȚIUNI TEORETICE CONCURENTE

Spre sfîrşitul deceniului al treilea, care constase, pentru cosmologia teoretică, din ani de tatonări, de erori şi de surprize, dar şi din ani ai marilor descoperiri, un articol al lui Weyl elucida complet geometria Universului lui de Sitter [1], iar un memoriu al lui Robertson clarifica definitiv „ipotezele geometrice", a căror necesitate pentru cosmologia relativistă fusese înţeleasă de Friedman fără ca el să le formuleze perfect. Robertson dădea acestei probleme geometrice, bine delimitată conceptual, o soluţie riguroasă şi definitivă, în termenii geometriei riemanniene şi ai grupurilor de transformări. Folosind în plus în mod sistematic coordonate comobile, al căror sens fizic este absolut clar, el dădea expresia canonică — astăzi clasică—a oricărei metrici riemanniene care satisface aceste ipoteze [2].

Aplicarea ecuaţiilor lui Einstein, cu termenul lor cosmologic, acestei metrici — ceea ce conduce, cu diferenţe neglijabile, la ecuaţiile explicitate de Friedman — permite specificarea metricii într-un mod compatibil cu axiomele relativităţii generalizate.

Deducerea lui Friedman şi cu atît mai mult cea a lui Robertson, scoseseră în evidenţă cît de restrictive şi de arbitrare erau ipotezele pe care se baza posibilitatea existenţei unei cosmologii statice. Spaţiu-timp-ul lui Minkowski este static, dar vid; Universul lui de Sitter este vid şi pseudostatic; nu există soluţii statice ale ecuaţiilor lui Friedman într-un Univers cu curbură spaţială negativă.

Universul închis al lui Einstein rămînea deci singura soluţie autentic statică. Or Eddington a arătat, în 1930, într-un studiu rămas celebru, că în momentul în care se admite că raza hiper-

---

[1] *Red-shift and Relativistic Cosmology*, mem. cit.

[2] *On the Foundations of Relativistic Cosmology*, Proc. Natl. Acad. Sci., 15, 1929; pp. 822—829. Vezi Anexa, IV, ec. 41.

sferei lui Einstein *poate* să fie variabilă cu timpul, adică atunci cînd se consideră acest model în perspectiva generală a cosmologiei lui Friedman, el nu mai apare decît ca o figură de echilibru *instabil*. Orice fluctuaţie locală a densităţii trebuie să se repercuteze asupra ansamblului geometriei cosmice, declanşînd o expansiune sau o contracţie care nu se pot amortiza şi trebuie să continue [1]. Urmînd consolidării descoperirilor lui Hubble la Mount Wilson, acest rezultat teoretic al lui Eddington dădea o lovitură decisivă prejudecăţii repausului cosmic.

Cu alte cuvinte, în 1930 se încheie o perioadă a cosmologiei moderne.

A. Elementul liniar ds^2 al lui Robertson şi ecuaţiile lui Friedman. Necunoscutele cosmologiei relativiste

Privit în perspectiva a treizeci de ani, tabloul cosmologiei prezintă contraste foarte nete şi semnificative. Pe de o parte, el trezeşte o impresie de desăvîrşire şi de stăpînire teoretică; s-a dobîndit o idee precisă despre Univers, iar o axiomatică precisă a înlocuit intuiţiile incerte. Pe de altă parte, se impune o certitudine cu atît mai frapantă cu cît raţionamentul şi calculul sînt suficiente şi nu mai este nevoie de observaţie pentru a le sprijini; Universul este o structură în mişcare prin constituţia sa; devenirea naturii nu este numai locală şi parţială, ea este totală; nu mai este nevoie de spectrograme ale galaxiilor pentru a dovedi acest lucru. Dar, în schimb, cosmologia relativistă prezintă aspecte nesigure şi dezamăgitoare. Ea permite un pluralism deconcertant: lumile posibile sînt foarte numeroase şi diferă între ele mai mult decît prin nişte simple detalii; spaţiu închis, sau spaţiu deschis? expansiune monotonă, sau oscilaţie a structurii spaţiale şi a stării fizice între un maxim şi un minim de densitate? infinitate a timpului spre trecut, sau istorie cosmică începînd la o distanţă finită în trecut printr-o stare singulară indescriptibilă în termenii fizicii cunoscute?

Nici una dintre aceste probleme nu putea fi rezolvată în mod categoric. În ciuda unor motive întemeiate, destul de heteroclite dealtfel, şi a altora mai puţin întemeiate (rezultînd din anumite erori sistematice în măsurători) de a prefera anumite soluţii şi de

---

[1] A.S. EDDINGTON, *On the Instability of Einstein's Spherical Univers*, M.N. R.A.S., 90, 1930, pp. 668–678. Vezi Anexa, VI, A, 2.

a înlătura altele, cosmologia relativistă nu era capabilă să treacă la o adevărată *determinare* a structurii Universului, nici aprioric, nici pornind de la observații.

Pe de altă parte, dacă se privește mai de aproape axiomatica acestei cosmologii, se vede că ea păstrează prea net urma diferitelor motive, tehnice sau filozofice, care au ghidat cercetarea, pentru a fi scutită de echivoc și liberă de orice compromis. Pe de o parte, desigur, cunoașterea relativistă a Universului se obține prin extrapolare pornind de la observații : dar, pe de altă parte, această cunoaștere este determinată aprioric. Ceea ce este nesigur este situația și importanța relativă a acestor două surse ale cunoașterii cosmologice. Acestea sînt trăsăturile cele mai marcante ale științei despre Univers așa cum apare, în 1930, după patrusprezece ani de cercetări teoretice în care nu lipsiseră nici talentul, nici răbdarea, nici pasiunea.

Iată dealtfel, cu mai multă precizie, cum se prezintă cititorului de astăzi cosmologia relativistă din 1930, cu certitudinile și enigmele sale ; cum vedeau atunci principalii săi promotori sensul și viitorul ei și de ce se anunțau dezvoltări și aventuri noi.

În locul problemei particulare pe care o pusese Einstein, cosmologia relativistă rezolvase problema mai generală care a apărut în momentul în care *substratum*-ul metric euclidian și galileian — continuînd să beneficieze de o prejudecată deosebit de favorabilă la scară mică — a fost pus în discuție, la scară mare, prin „geometrizarea'' entităților fizice. Pe de o parte teoria relativității generalizate, pe de alta ipotezele de simetrie și de omogenitate impuse aprioric dar plauzibile și încurajate de progresele observațiilor, au permis, prin conjugarea lor, să se dea noțiunii de univers un sens fizico-matematic precis și, în cele din urmă, s-a stabilit un acord cel puțin pragmatic între toți cosmologii asupra conținutului acestor ipoteze și asupra expresiei lor formale.

Iată aici adunate aceste ipoteze [1] : proprietățile metrice ale spațiului și ale timpului sînt în orice punct determinate (dînd cuvîntului un sens mai curînd algebric decît cauzal) de către proprietățile fizice ale materiei-energiei în vecinătatea punctului respectiv și ecuațiile lui Einstein exprimă în mod corect această relație între forma metrică și conținutul fizic. Dacă se consideră Universul în ansamblul său, neregularitățile locale în distribuția materiei dispar ; materia este atunci distribuită uniform și continuu în întreg spațiul ; mișcările locale sînt oarecare, dar de viteză întotdeauna mică în raport cu viteza luminii, ceea ce face

---

[1] Vezi Anexa, IV, V, pp. 474–484.

ca în fiecare punct să se poată defini un reper local în repaus. Un fluid perfect, mai general o distribuţie omogenă de materie şi de radiaţie reprezintă modelele fizice experimentale şi teoretice cele mai potrivite pentru materia cosmică; singurele mărimi fizice luate în consideraţie sînt, în general, densităţile uniforme şi presiunile izotrope ale materiei şi ale radiaţiei. Aceste ipoteze fizice sînt în esenţă cele pe care Einstein le considerase în 1917 şi a căror valoare fusese confirmată de descoperirile astronomice din deceniul al treilea, care dezvăluiau că la o scară destul de mare — la drept vorbind enormă, dar accesibilă observaţiei, galaxiile devenind practic ca nişte atomi asemănători unii altora şi uniform repartizaţi — uniformitatea prevalează în cele din urmă asupra diversităţii [1].

Egalizată la această scară, densitatea materiei este foarte mică; ea nu produce în orice caz decît o distorsiune fără importanţă, neglijabilă local, a metricii spaţio-temporale în raport cu valorile galileiene[2]. Dar această densitate nu este nulă; cosmologia nu a reţinut obiecţiile lui de Sitter împotriva ipotezei „materiei cosmice". Speculativă în 1917, această ipoteză a devenit empirică în 1930. Paralel, spaţiu-timp-ul era definit din punct de vedere geometric ca o varietate riemanniană — în care spaţiul formează o subvarietate cu trei dimensiuni, omogenă şi izotropă în orice punct — şi în care timpul se separă intrinsec de spaţiu, elementele materiale fundamentale asociate reperelor în repaus local parcurgînd linii de univers pe care chiar coordonata temporală măsoară timpul propriu. Această ultimă ipoteză asupra „timpului cosmic" se poate numi „principiul lui Weyl", aşa cum face de exemplu Robertson [3], pentru că ea generalizează postulatul introdus de Weyl în discuţia modelului lui de Sitter.

Plecînd de la aceste premize — al căror sens poate da naştere la multe discuţii, dar care din punct de vedere tehnic sînt viabile — se poate deduce fără echivoc forma metrică generală a unui spaţiu-timp capabilă să constituie reprezentarea Universului şi să joace rolul deţinut pînă acum fără justificare de *substratum*-ul euclidian-galileian. În formul aelementului liniar al spaţiu-timp-ului, ds^2, apare un număr real, pozitiv, notat cu R, independent de loc

---

[1] Vezi cap. I.

[2] Nu trebuie desigur confundată această distorsiune teoretică locală cu distorsiunea reală produsă de neregularităţile locale, în special de condensările mari de masă. Aceasta din urmă este atît de puţin neglijabilă încît este responsabilă de mişcarea planetelor şi, în general, de toate fenomenele gravitaţionale.

[3] H.P. ROBERTSON, *Relativistic Cosmology*, Reviews of Modern Physics, 5, 1933, p. 63.

dar dependent de timp şi care măsoară „curbura" spaţiului[1] (şi „raza sa de curbură", atunci cînd spaţiul este închis). Acest număr R, fiind în general funcţie de timpul cosmic, cosmologia statică se reduce la nişte cazuri particulare în care această funcţie este o constantă.

Din metrica generală, nestatică, fără a duce mai departe specificarea modelului şi presupunînd pur şi simplu că funcţia $R(t)$ este monotonă pe un interval destul de mare, se poate deduce existenţa unui efect Doppler universal, izotrop, care modifică în orice punct frecvenţa oricărei radiaţii provenind de la o sursă suficient de îndepărtată, în aşa fel încît decalajul spectrului în raport cu spectrul unei surse identice locale creşte cu distanţa, urmînd o lege în primă aproximaţie liniară. Acest rezultat teoretic, care concordă atît de bine cu rezultatele observaţiilor astronomice, este în acelaşi timp cel mai simplu şi cel mai frapant din întreaga cosmologie modernă[2]. Pentru deducerea efectului, în afară de forma generală a elementului cosmic ds^2 sînt necesare două ipoteze, şi anume : că în vid, conform uneia din axiomele teoriei relativităţii, lumina parcurge o geodezică a spaţiu-timp-ului de-a lungul căreia $ds = 0$ şi că în două puncte oarecare din spaţiu-timp doi atomi identici, aflaţi în repaus local, emit fotoni de aceeaşi frecvenţă (măsurată în timpul propriu).

Un alt rezultat fizic important care se poate deduce din forma metrică generală a Universului relativist este expresia, aprioric destul de neaşteptată, pe care o capătă principiul conservării materiei-energiei cosmice. Dacă, pentru simplificare, se asimilează această materie cu un gaz perfect, mişcările sale locale dezordonate se măsoară printr-o mărime macroscopică numită, printr-o analogie evidentă cu fizica locală, *presiune*. Or, în expansiunea cosmică, cu toate că la această scară materia nu are prin definiţie nici un mediu înconjurător asupra căruia şi-ar putea exercita acţiunea, trebuie totuşi să spunem că presiunea „lucrează" — asemenea presiunii unui gaz care se destinde adiabatic, deplasînd un piston fără a schimba căldură cu exteriorul; cu alte cuvinte, putem spune că energia sa se micşorează prin expansiune cu o cantitate echivalentă cu lucrul mecanic efectuat asupra mediului înconjurător[3]. Importantele consecinţe pe care anumiţi autori le

---

[1] Pe o varietate cu trei dimensiuni există mai multe feluri de „curburi". Pentru definirea precisă a celei de care este vorba aici, vezi Robertson, *ibid.*, p. 83. Anexa, I, ec. (21, 22, 23).

[2] Robertson insistă în special, şi pe drept cuvînt, asupra faptului că în deducţia cosmologică ipoteza nestatică nu este bazată pe observaţie, ci permite să se anticipeze asupra acesteia; *ibid.*, p. 82.

[3] Anexa, V, ec. 58.

deduc de aici, în ceea ce privește termodinamica Universului, vor fi examinate ulterior [1].

Pînă aici deducerea teoretică este incontestabilă, dar este imposibil de mers mai departe în determinarea caracteristicilor geometrice ale Universului fără introducerea unor ipoteze suplimentare, asupra cărora însă acordul încetează de a mai fi unanim; pe de altă parte, acordul pragmatic asupra principiilor deducției cosmologice este greu de tradus fără echivoc în termeni filozofici. Este mai ales cazul — asupra căruia sîntem obligați să revenim fără încetare — al ipotezei timpului cosmic, pe care în 1917 de Sitter o respingea în numele teoriei relativității și la care teoreticienii fuseseră readuși, poate fără a o fi dorit în mod deliberat ci pur și simplu pentru a răspunde exigențelor clarității matematice. Nu este încă momentul să întreprindem analiza acestei probleme, date fiind salturile pe care le va cunoaște în această privință gîndirea cosmologică după 1930. Dar am vorbit deja despre curioasa „supradeterminare" a principiului lui Weyl și putem adăuga că, la autorii acestei prime epoci, ipoteza timpului cosmic — odată detașată de consecințele operatorii care rezultă — prezintă o mare diversitate de semnificații: aceasta se consideră fie ca un simplu corolar al izotropiei spațiale, fie ca o axiomă justificată numai de comoditatea sa (aceasta este poziția lui Friedman, dealtfel prea puțin explicită asupra acestui punct), fie ca traducerea abstractă a unui fapt empiric (vitezele locale ale materiei sînt mici), fie ca un fel de evidență ontologică — existența unui conținut material al Universului antrenînd separarea spațiului de timp (acesta este punctul de vedere al lui Lemaître, care va fi mai amplu examinat).

Aceste echivocuri epistemologice sînt puțin spectaculaose; în 1930 erau încă și mai puțin vizibile decît astăzi și rețineau mai puțin atenția savanților angajați în cercetare decît pe cea a istoricului și a filozofului care încearcă astăzi să le regăsească itinerariul.

În schimb, *nedeterminarea* cosmologiei relativiste nu putea să nu atragă asupra ei toate privirile, să nu provoace unele decepții, ba chiar să angajeze teoreticienii în asumarea unor riscuri noi.

Desigur, un rezultat foarte important și bogat în consecințe îl constituia faptul că cosmologia statică a fost practic exclusă prin convergența raționamentelor teoretice și a descoperirilor empirice, care permiteau mai ales determinarea *sensului* evoluției — pe care teoria, cum se întîmplă de obicei, îl lăsa nedeterminat: deoa-

---

[1] Vezi cap. VIII.

rece spectrele erau decalate spre roşu, însemna că spaţiul se află în expansiune.

Totuşi, lăsînd la o parte această circumstanţă, soluţia relativistă generală a problemei cosmologice lăsa nedeterminate aspecte absolut esenţiale, atît în ceea ce priveşte forma geometrică a Cosmosului, cît şi comportamentul său temporal: trebuie oare considerat spaţiul ca finit sau infinit? Expansiunea actuală trebuie să continue indefinit sau, dimpotrivă, a fost precedată şi va fi urmată de o fază de contracţie? În primul caz, a început oare expansiunea într-un trecut infinit îndepărtat, sau la o distanţă finită în trecut, pornind de la o „stare singulară", indescriptibilă în termenii fizicii cunoscute, materia găsindu-se atunci într-o stare de condensare infinită? În cel de-al doilea caz, este spaţiul „oscilant", expansiunile succedîndu-se periodic cu contracţiile, Universul traversînd, printr-o eternă reîntoarcere, de o infinitate de ori, aceleaşi stări în special starea singulară prin care trebuie să se încheie fiecare fază de contracţie? sau istoria Universului se încheie într-un timp finit, sfîrşitul perioadei identificîndu-se cu începutul ei iar timpul închizîndu-se asupra lui însuşi, aşa cum sugerează Friedman?

Toate aceste posibilităţi sînt cuprinse în formula generală a elementului cosmic ds^2; fără îndoială, nu toate sînt la fel de interesante şi plauzibile, dar atîta timp cît ne menţinem în cadrul ipotezelor lui Robertson nu putem avea o determinare completă a soluţiei, nici prin teorie, nici prin observaţie.

Pe plan teoretic, mai întîi, nu poate subzista nici o îndoială: problema semnului curburii spaţiale şi cea a constantei cosmologice sînt independente una de cealaltă şi acestor probleme trebuie să li se dea un răspuns separat. Contrar a ceea ce crezuse Einstein, introducerea termenului cosmologic în ecuaţiile cîmpului nu impune o soluţie finită.

Pe de altă parte, proprietăţile globale ale spaţiu-timp-ului depind în mod direct de valoarea constantei cosmologice: aceasta rezultă în mod indiscutabil din discuţia lui Friedman. Oricare ar fi curbura spaţiului, soluţiile sînt în mod necesar periodice pentru anumite valori ale lui Λ, monotone pentru altele. Dar valoarea critică a lui Λ depinde de semnul curburii, în aşa fel încît nedeterminarea nu este ridicată alegînd $\Lambda = 0$. În acest caz, variaţia curburii spaţiului este monotonă dacă spaţiul este infinit, periodică dacă acesta este închis [1].

---

[1] Anexa, V, ec. 60 şi discuţia de la fig. II.

Acestea sînt deci trăsături esenţiale ale structurii şi ale istoriei Cosmosului pe care deducţia teoretică le lasă nedeterminate.

Ce se poate spune despre raportul cu observaţia? Datele astronomiei au putut să sugereze, mai ales între 1930 şi 1950, în parte datorită erorilor sistematice de măsurare, o preferinţă aproape generală pentru anumite modele. Ele nu erau însă suficiente pentru *determinarea* atîtor necunoscute; ele nu sînt suficiente nici astăzi, cu toate că apar mereu noi posibilităţi.

În 1930, măsurătorile lui Edwin Hubble, pionier al Universului îndepărtat, se bucurau de încredere deplină. Dar, oricît de ingenioase şi de precise erau metodele sale de sondare a spaţiului, el subestimase totuşi scara distanţelor extragalactice, introducînd astfel erori sistematice în măsurătorile sale. După cum, dimpotrivă, în ceea ce îl priveşte pe Humason, cu toate că măsurătorile sale spectroscopice, mult mai directe, erau mai exacte, constanta de recesiune era supraevaluată şi, în consecinţă, inversul acesteia, ,,vîrsta'' Universului, era subestimată.

Durata incredibil de scurtă a evoluţiei cosmice indicată în felul acesta (circa 1,8 miliarde de ani, mai mică decît cea a unor procese locale relativ binecunoscute) stînjenea mult cosmologia relativistă şi îi împiedica pe cosmologi să acorde prea mare valoare modelelor de univers în care o singularitate cosmică este situată într-o epocă mai recentă [1]. Aşa cum vom vedea mai departe, această dificultate îl stînjenea în special pe Einstein.

Începînd din 1952, dată la care a fost încheiată analiza primelor date obţinute la Mount Palomar, au intervenit mai multe revizuiri ale constantei de recesiune. Valoarea acceptată astăzi este de şapte ori mai mică decît valoarea dată de Hubble, ceea ce stabileşte ,,vîrsta'' Universului la treisprezece miliarde de ani [2]. Aceasta dă cosmologiei mai multă libertate, avînd în vedere faptul că corecţiile succesive au stîrnit oarecare îndoieli asupra posibilităţii de a stabili, în starea actuală a lucrurilor, o valoare precisă a acestei vîrste; dar aceasta subliniază şi mai mult nedeterminarea fundamentală a cosmologiei relativiste.

Aici apare o particularitate a cunoaşterii cosmologice: cosmologia, prin însăşi natura sa de ştiinţă a totalităţii, nu poate fi direct interesată decît de un număr mic de fapte de observaţie, tocmai acelea cărora li se poate atribui cu certitudine o semnificaţie universală. Nu se poate însă spera ca astfel de fapte să fie prea nu-

---

[1] Vezi Anexa, fig. III—VI.

[2] În contextul cosmologiei este întotdeauna vorba de ,,vîrsta'' Universului fizic (descris de legi cunoscute pînă în prezent ale fizicii) nu a Universului înţeles în sens general, filozofic. — *N.R.*

meroase, nici prea uşor de discernat. Pentru a ne asigura că aceste fapte nu sînt numai efectul configuraţiilor parţiale sau trecătoare, trebuie să le observăm la scări imense şi să le căutăm extrem de departe, la limitele vizibilului, ceea ce face ca cosmologia să fie totdeauna mai mult sau mai puţin obligată să trăiască deasupra mijloacelor astronomiei. Tocmai din această cauză descoperirea deplasării spre roşu a constituit o surpriză atît de extraordinară. De fapt, dacă se iau în consideraţie progresele enorme făcute de observaţiile asupra aştrilor începînd cu marile achiziţii de la Mount Wilson, observăm că aceste progrese au mai curînd ca efect mărirea certitudinii şi a preciziei cu care pot fi cunoscute mărimile cosmologice şi nu creşterea numărului lor.

Chiar şi un sistem atît de gigantic cum este Galaxia care se întinde pe zeci de mii de ani-lumină, numără sute de miliarde de stele şi evoluează de mai multe miliarde de ani, ceea ce oferă astronomiei un cîmp imens de observaţie nu numai prin întinderea sa, ci şi prin diversitate, nu reprezintă totuşi din punctul de vedere al cosmologiei decît un element infim, care are numai cîteva proprietăţi cu adevărat interesante : forma şi mişcarea sa de ansamblu poate, durata evoluţiei sale în mod sigur.

În afară de aceasta trebuie ţinut cont că orientarea cosmologică a gîndirii poate uşor să genereze miraje. În perspectiva şi, dacă vrem, în climatul cosmologic, un fenomen riscă cu atît mai mult să fie investit cu o semnificaţie cosmică cu cît el este mai puţin cunoscut şi, din această cauză, mai puţin pus în legătură cu procesele locale. Exemplul radiaţiilor cosmice este, în această privinţă, aşa cum o arată chiar numele lor, foarte semnificativ. Ele au fost numite astfel pentru că nu au putut fi puse în legătură cu nici o origine terestră sau solară. Chiar şi în 1930, cînd cosmologia era în plin avînt, era încă imposibil să li se dea vreo explicaţie satisfăcătoare. Lemaître îşi închipuia că ele sînt urmele unei stări arhaice a Universului, resturile unei explozii gigantice care a fost preludiul istoriei lumii. Dar după aceea, descoperirea magnetismului stelar şi interstelar a contribuit mult la dezvoltarea aplicaţiilor „locale” care fac din problema radiaţiilor cosmice un fenomen necosmic, ci galactic [1]. Dacă avem grijă să înlăturăm toate mirajele, aportul astronomiei la cosmologie rămîne limitat; aceasta se datorește mai puţin ignoranţei primeia, cît exigenţelor celei de-a doua şi naturii problemelor pe care ea le pune [2].

---

[1] Totuşi, Hoyle presupune încă faptul că radiaţiile cosmice cele mai energice au o origină cu adevărat...cosmică. Vezi mai jos, cap. IX.

[2] Asupra confruntării teoriilor cosmologice cu observaţia, vezi mai jos, cap. X.

Această nedeterminare atît de dezamăgitoare a cosmologiei teoretice, această dificultate de a preciza înseşi datele pe care observaţia ar putea şi ar trebui să i le furnizeze, invită prin ea însăşi la reflectare asupra a ceea ce motivează această ştiinţă, sau, mai curînd, în perspectiva actuală, asupra a ceea ce o motiva în cadrul cosmologiei relativiste din 1930. În orice caz, fără această examinare, nu am putea înţelege deloc de ce cercetarea cosmologică a luat, începînd de la acea dată, o direcţie nouă şi s-a abătut cîteodată complet de la căile trasate de ştiinţa tradiţională.

Plasaţi în deceniul al patrulea, într-o situaţie puţin satisfăcătoare — pentru că orice cosmolog se simte angajat, prin însăşi natura acţiunilor sale, să dea un răspuns unic unei probleme unice — teoreticienii Universului au făcut faţă situaţiei aducînd în discuţie elementele unei concepţii personale asupra lumii, pe scurt ale unei filozofii. Pentru că atingem aici tocmai punctul în care, oricare ar fi tehnicitatea discuţiei, ştiinţa încetează şi începe filozofia, punctul în care un anumit fel de certitudine încetează să fie accesibilă, se trezeşte un nou fel de interes. Principalele probleme care cereau simultan un răspuns, în vederea confruntării dintre modelele teoretice şi datele de observaţie şi în vederea clarificării din punct de vedere filozofic a noţiunii de univers, erau următoarele :

1. Întrucît geometria riemanniană permite definirea unui spaţiu finit într-un sens necunoscut ştiinţei clasice, trebuie oare, şi în ce fel, redeschisă dezbaterea privind avantajele şi inconvenientele unei reprezentări finitiste a Universului? Pe de altă parte, problema constantei cosmologice revenea la întrebarea cum trebuie conceput raportul dintre teoria relativităţii, cu ecuaţiile sale locale, şi definirea *substratum*-ului metric universal.

2. Problema timpului cosmic şi a semnificaţiei filozofice a acestei ipoteze atingea în oarecare măsură toate problemele importante ale filozofiei naturii, ba chiar ale întregii filozofii. În particular, pentru a rămîne la aspectele cele mai fizice ale acestei probleme, trebuie oare să considerăm expansiunea ca o simplă trăsătură a structurii Universului, care, datorită caracterului său geometric şi cosmic, nu poate fi, prin definiţie, decît descrisă, ca şi tridimensionalitatea spaţiului, pe care ar fi inutil să dorim s-o „explicăm" prin acţiunea unei anumite cauze fizice [1]? (Eventuala inversiune a sensului evoluţiei, de la expansiune la contracţie, nu ar avea atunci altă semnificaţie decît de a traduce imposibilitatea logică ca un număr real să aibă un pătrat negativ ca şi

[1] „Explicaţia" tridimensionalităţii spaţiului, pe care Eddington o propune în *Fundamental Theory*, nu constă în a o raporta la o „cauză", ci în a o integra în descrierea unei structuri mai abstracte.

corespondența dintre proprietățile timpului cosmic și cele ale mulțimii numerelor reale.) Trebuie, dimpotrivă, să se considere expansiunea ca un „fenomen", ca ceva care „se petrece" și să se caute în consecință a o raporta la cauza sa?

3. Se schițează în sfîrșit o problemă epistemologică: cosmologia poate cu greu să se prezinte ca o simplă extrapolare, pornind de la observațiile astronomice; fără anumite ipoteze apriorice, ea este condamnată la tăcere. Dar pînă la ce punct este permis acest procedeu? Folosirea sa trebuie limitată cît mai mult posibil, sau trebuie, dimpotrivă, practicată sistematic, cu dorința explicită de a da ideii de univers, științei Universului, un statut epistemologic cu totul diferit de acela care este de obicei recunoscut științei astronomice sau fizice?

Orientarea cosmologiei după 1930, care va face obiectul următoarelor capitole, este determinată într-o mare măsură de meditația asupra ultimelor două probleme. Dar pentru a înțelege mai bine dezvoltările și rezultatele noilor teorii care vor înflori între 1930 și 1950, trebuie să examinăm răspunsurile mai mult sau mai puțin explicite și motivate pe care anumiți făuritori ai cosmologiei relativiste au ajuns să le dea, rămînînd totuși fideli teoriei relativității generalizate.

Ne vom opri deci, succesiv, asupra noii poziții cosmologice a lui Einstein, adversar hotărît al constantei Λ după ce fusese inventatorul ei, asupra celei a partizanilor finitismului și ai unei valori pozitive, definite, a lui Λ (Eddington și Lemaître) și, în sfîrșit, asupra celei a lui Tolman, empirist convins, în lucrările căruia anumite ezitări filozofice scot bine în evidență dificultatea de a pune în acord noua gîndire cosmologică cu principiile științei pozitive tradiționale.

B. Noua cosmologie a lui Einstein

În lucrarea *Kosmologische Betrachtungen* din 1917, extinderea cosmologică a teoriei relativiste este motivată mai curînd de o exigență de coerență și de perfecțiune logică decît de intenția de a extrapola inductiv, mergînd de la parte la întreg. Universul este așezat la baza cunoașterii teoretice în loc să fie considerat ca orizontul ei. Einstein pare să se fi menținut destul de mult timp pe poziția sa epistemologică din 1917: el o precizează și o apără cu o franchețe desăvîrșită atunci cînd de Sitter, în condițiile care se cunosc, propune o nouă soluție pentru problema cosmolo-

gică. „Teoria relativității, spune atunci Einstein, nu constituie într-adevăr un sistem satisfăcător"... decît dacă ea face să apară „proprietățile fizice ale spațiului ca fiind complet și în mod unic determinate de materie" [1].

Aceasta este singura justificare a termenului cosmologic și dacă soluția lui de Sitter era posibilă — ceea ce la acea dată Einstein nu credea, din cauza „orizontului masei" — menținerea termenului în Λ în ecuații nu ar fi fost justificată.

Atunci cînd Einstein a luat cunoștință de primul memoriu al lui Friedman, el l-a primit cu suspiciune și a crezut chiar că poate demonstra că soluția nestaționară este incompatibilă cu ecuațiile cîmpului : raționamentul său era foarte simplu și, ca întotdeauna, mergea direct la esențial și ajungea la concluzia că densitatea medie a Universului nu poate fi variabilă în timp ; lucrurile nu stăteau însă astfel și nu Friedman era acel care se înșelase... Einstein a mărturisit cu franchețe că făcuse o eroare de calcul și a scris zece rînduri în Zeitschrift für Physik pentru a-i da dreptate, fără nici o rezervă lui Friedman [2].

Ar fi o notă de ușurință din partea noastră să considerăm ca o simplă anecdotă faptul că cel mai mare fizician al secolului publică rezultatul unui calcul eronat. Aceasta arată mai curînd ce important „obstacol epistemologic" era credința în permanența formei cosmice pentru un spirit format de filozofia naturii din 1890.

Apreciind la justa sa valoare noua idee a lui Friedman, Einstein va păstra tăcerea, timp de opt ani, în ceea ce privește problema cosmologică. Fără îndoială că nașterea și avîntul teoriilor cuantice i-au reținut atenția în toată această perioadă asupra unor probleme mai arzătoare. Totodată avea fără îndoială nevoie de un oarecare timp pentru a abandona perspectiva din *Kosmologische Betrachtungen*. Dar atunci cînd ia din nou cuvîntul în dezbaterea cosmologică, începînd din 1931, se observă că schimbarea punctului de vedere este foarte importantă. La acea dată, clarificarea tehnică a problemei era încheiată, dar, din numeroasele lucrări ale contemporanilor săi, Einstein nu le reține decît pe cele ale lui Friedman și noua sa doctrină este foarte personală[2].

---

[1] *Kritisches zu einer Herrn de Sitter gegebenen Lösung der Gravitationsgleichungen*, in Sitzungsberichte der königlichen preussischen Akademie der Wissenschaften, 1918, pp. 270—272.

[2] Zeitschrift für Physik 11, 1922, p. 326 și 16, 1923, p. 228.

[3] Începînd din 1931, Einstein a consacrat problemei cosmologice patru studii speciale, ale căror referințe le grupăm mai jos : a. *Zum kosmologischen Problem der allgemeine Relativitätstheorie*, S.B. der Pr. Akad. der Wiss., 1931, pp. 285—327 ; b. *On the Relation Between the Expansion and the Mean Density of the Universe*, (în colaborare

Deşi nu îşi „mărturiseşte" niciodată explicit retragerea, Einstein a renunţat de fapt, începînd din 1931, cel puţin provizoriu, la tentativa de desăvîrşire teoretică ce motiva raţionamentele sale din 1917. Nu mai este vorba de a elabora o soluţie cosmică a ecuaţiilor cîmpului, care să satisfacă integral principiul determinării complete a metricii de către conţinutul spaţiu-timpului. Asupra acestui punct, Einstein recunoaşte pînă la urmă — dar întotdeauna implicit — temeinicia criticii lui de Sitter, admiţînd ca reprezentare posibilă a lumii reale modelele în expansiune definită în care, după propriile sale cuvinte, „structura spaţiului este din ce în ce mai puţin determinată de materia pe care o conţine"[1]. Ca şi cum, purtat de elan, Einstein atinsese în 1917 culmea puterii şi a pretenţiilor sale, pentru a fi constrîns după aceea, prin forţa lucrurilor şi a ideilor, să amîne desăvîrşirea unei sinteze întotdeauna căutate, dar care i se sustrăgea fără încetare.

Termenul cosmologic neproducînd efectele scontate, Einstein este hotărît, în 1931, să se lipsească de el şi să scrie ecuaţiile cîmpului în forma lor originală, cea mai simplă, aşa cum o recomandă principiul „economiei logice". Asupra acestui punct, poziţia sa a devenit din ce în ce mai fermă. În 1932, el spune că teoria *poate* să se lipsească de termenul cosmologic, în 1945, afirmă că acest termen este „de aruncat".

Trebuie să mărturisim totuşi că principiul economiei logice nu este în speţă mult mai convingător decît principiul invers al celei mai mari generalităţi, în numele căruia Lemaître sau Tolman înţeleg *să menţină* termenul cosmologic în ecuaţiile cîmpului . . . Şi nu ne putem reţine să considerăm arbitrară hotărîrea lui Einstein, din simplul punct de vedere al obiectivităţii raţionale şi să presupunem, în consecinţă, că a avut şi alte motive străine de acest unic punct de vedere. Vivacitatea lui Einstein în răspunsul la critica lui de Sitter, neînţelegerea valorii discuţiei lui Friedman, îndelungata tăcere care a urmat scurtei sale retractări, absenţa din scrierile sale ulterioare a unei adevărate recunoaşteri că principiul determinării complete a metricii este abandonat, toate acestea ne fac să credem că Einstein nu a renunţat decît cu greu la marea idee din *Kosmologische Betrachtungen* şi că, repudiind cu intransigenţă şi pentru totdeauna constanta cosmologică, el

---

cu de Sitter), Proc. Natl. Acad. Sciences U.S.A., 18, 3, 1932, pp. 213 – 214; c. *Sur la structure cosmologique de l'espace*, în *Fondements de la Relativité générale*, trad. M. Solovine, Hermann, Paris, 1933, pp. 98–109; d. *On the Cosmological Problem*, in *The Meaning of Relativity*, Princeton U.P., ed. a V-a, 1955, pp. 109–132.

[1] *On the Cosmological*..., *men cit.*, d, p. 124.

a dorit în primul rînd să-și interzică să privească înapoi spre o iluzie pierdută.

Este remarcabil totuși că, neputînd da soluției problemei cosmologice sensul pe care aceasta îl avea pentru el în 1917, Einstein nu s-a dezinteresat niciodată de această problemă și că a continuat, cel puțin pînă în 1945, să-i rezerve un loc în meditațiile sale. Acest interes a fost foarte clar motivat, în mai multe rînduri, și întotdeauna în termeni destul de asemănători. Este vorba de faptul că teoria relativității, datorită principiilor sale, trebuie să ia în considerație ceea ce revelă observația cu privire la distribuția materiei în Cosmos, căci „proprietățile metrice ale spațiu-timp-ului nefiind cauzal independente de conținutul său, ci determinate de acesta din urmă, apare în această teorie o problemă străină teoriei clasice[1]". Materia cosmică omogenă nu mai este deci, ca în 1917, o ipoteză necesară aprioric, ci un fapt de observație de care teoria relativității trebuie să țină cont, datorită consecințelor sale geometrice. Din 1917 pînă în 1931, perspectiva lui Einstein asupra Universului s-a modificat, chiar s-a inversat, dar el nu s-a gîndit niciodată că teoria relativității ar putea fi completă fără a da problemei cosmologice o soluție conformă cu datele de observație.

La drept vorbind, lui Einstein i-a venit destul de greu să-și fixeze ideile în această nouă perspectivă. Îl vedem mai întîi, în 1931, explorînd consecințele unei triple ipoteze de lucru : *a*. Friedman are dreptate, metrica spațiului trebuie să fie considerată ca variabilă ; *b*. $\Lambda = 0$; *c*. Universul este finit. Acest ultim postulat menține încă o anumită legătură între vechea și noua cosmologie a lui Einstein. Rezultă, pe de altă parte, ipoteze cu privire la Universul ciclic[2], ceea ce reprezintă un fel de echivalent al permanenței unui model static.

Dar în anul următor ruptura cu cosmologia din 1917 va fi completă : Einstein prezintă împreună cu de Sitter un model în expansiune indefinită și în care spațiul este euclidian. Din punct de vedere al „economiei logice", acesta este cel mai perfect dintre universurile imaginabile în cadrul ipotezelor Friedman-Robertson. Considerînd nule constanta cosmologică, curbura spațiului și presiunea cosmică, ecuațiile lui Friedman se pot integra imediat, obținîndu-se pentru $R(t)$ funcția explicită și foarte „economică" :

$$R(t) = t^{2/3}.$$

---

[1] *Sur la structure...*, *mem. cit.*, c.

[2] Anexa, VI, C, 2.

Acest „model al lui Einstein-de Sitter”[1], pe care îl vom regăsi de sute de ori, rezultat al unei schimbări subite a concepţiilor teoretice ale lui Einstein, punea de acord pe cei doi fondatori ai cosmologiei moderne, ale căror opinii contrastante deschiseseră, cu cincisprezece ani mai înainte, dezbaterea cosmologică. Acesta este unul din puţinele exemple de reconciliere ştiinţifică pe care le oferă istoria. Să încercăm să ni-i imaginăm pe Parmenide şi pe Heraclit compunînd un poem comun pentru a lăsa să se înţeleagă că sfera „fiinţei” nu este imobilă, dar că, totuşi, o formă eternă a timpului asigură, sub distrugerea reciprocă a contrariilor, permanenţa adevărului . . . Einstein, la drept vorbind, ceda mai mult decît partenerul său, care fusese mai puţin dogmatic.

Abia după încă treizeci de ani Einstein s-a hotărît, punînd la punct şi strîngînd la un loc noile sale idei, să reia problema în ansamblul ei. Atunci rămîn posibile pentru el trei clase de modele : cele două precedente plus un altul — un tip de univers în care curbura spaţiului este negativă şi a cărui expansiune este monotonă, pornind de la o stare singulară, derivata $\dot{R}$ tinzînd către 1. Acest ultim model va servi drept bază anumitor teorii cosmogonice[2].

Din punctul de vedere particular al determinării modelului de univers, noua poziţie a lui Einstein prezintă atît un inconvenient, cît şi un avantaj. Inconvenientul principal este că toate modelele compatibile cu ipoteza $\Lambda = 0$ sînt expuse unei dificultăţi în privinţa scării timpului. Condiţia $\Lambda = 0$ implică, de fapt, $\ddot{R} < 0$ oricare ar fi R. Ne găsim în consecinţă în cazul în care o singularitate $R = 0$ se situează în trecut la un interval mai scurt decît inversul constantei lui Hubble[3].

Fără îndoială această dificultate este astăzi mai puţin gravă decît a fost pînă în 1952, pentru că valoarea dată de către Hubble a fost micşorată de aproximativ şapte ori şi inversul ei a trecut de la 1,8 miliarde de ani-lumină la aproape 13 miliarde, ceea ce dă nişte limite acceptabile pentru „a încadra” procesele cosmice a căror durată poate fi calculată în mod rezonabil (evoluţia stelelor şi a roiurilor de stele). Prin urmare, în modelele einsteiniene, curba $R(t)$ impune o limită superioară pentru durata evoluţiei cosmice care poate fi descrisă din punct de vedere fizic, adică

---

[1] Anexa, VI, C, 1.

[2] Vezi Anexa, VI, ec. 70. Asupra concepţiilor cosmogonice ale lui Alpher, Hermann şi Gamow, vezi cap. IX.

[3] Vezi Anexa, VI, C, 1, 2.

posterioară stării singulare; acest rezultat stînjenește totuși, căci evaluările scărilor de timp în astronomie sînt adesea subiectul unor revizuiri, deseori în sensul măririi lor [1]. Pe de altă parte, toate aceste modele sînt expuse dificultății pe care o ridică însăși existența unei ,,stări singulare'', greu de conceput în cadrul fizicii cunoscute și care reprezintă o discontinuitate puțin satisfăcătoare în evoluția cosmică.

Einstein nu ignoră, nici nu disimulează această problemă fundamentală pentru întreaga cosmologie modernă și asupra căreia vom reveni pe îndelete : ,,Introducerea unei astfel de singularități pare problematică prin ea însăși'', scrie el [2]. Și sub acest raport, după cum indică o notă, Einstein își pune speranța într-o teorie unificată, mai completă. De fapt, remarcă el, teoria actuală se bazează pe distincția conceptelor de ,,cîmp gravitațional'' și ,,materie''. Este posibil ca pentru acest motiv teoria să fie inadecvată în cazul unor densități mari și ,,se prea poate ca într-o teorie unificată să nu apară nici o singularitate [2]''.

Pe de altă parte, noua poziție a lui Einstein în cosmologie prezintă un anumit avantaj : ea ne permite să sperăm că într-o zi observația va putea să decidă asupra alegerii modelului și, mai ales, să răspundă la întrebarea : este spațiul finit, sau infinit? Într-adevăr, dacă necunoscuta Λ dispare din ecuații, determinarea semnului curburii spațiale devine posibilă prin compararea constantei de recesiune cu densitatea medie, mărimi accesibile observației [3].

Pentru o valoare dată a lui H_0 (constanta de recesiune), dacă densitatea medie ρ_0 este destul de mică, spațiul este deschis, dacă ea este destul de mare, spațiul se închide. Or, H_0 este cunoscut cu o precizie relativ mare în raport cu cea care poate fi atinsă în măsurarea lui ρ_0 ; dacă aceasta din urmă va fi cunoscută suficient de precis, observația va putea decide semnul curburii. Einstein găsește aici un motiv pentru a prefera soluția finită. Într-adevăr, putem fixa o limită inferioară pentru densitate : trebuie să ținem cont cel puțin de materia condensată în aștrii ce emit radiații, iar postulatul general al uniformității ne obligă să presupunem pretutindeni o densitate cel puțin egală cu cea impusă, în volumul explorat, de prezența acestei materii vizibile. Dimpotrivă, este imposibil să se fixeze o limită superioară pentru densitatea medie : dată fiind imensitatea spațiilor care separă galaxiile unele de altele,

---

[1] De exemplu, calcule recente ale lui Hoyle fixează durata evoluției Galaxiei la douăzeci și cinci de miliarde de ani.

[2] *On the Cosmological...*, *mem. cit.*, d., p. 124.

[3] Anexa, XI, ec. 159.

pot exista cantităţi enorme de materie în stare prea diluată şi emiţînd prea puţine radiaţii pentru a fi detectabile.

În consecinţă, conchide Einstein, dacă observaţiile vor arăta existenţa unei densităţi suficient de mari, este posibil ca într-o zi sau alta să ajungem să dovedim că spaţiul este închis. Pe de altă parte, nu se poate deloc concepe că s-ar putea dovedi că spaţiul este deschis, căci ipoteza existenţei unei mari cantităţi de materie care nu se poate detecta este greu de respins [1].

Einstein poate astfel spera — aici renunţăm să urmăm exprimarea gîndirii sale, pentru a o interpreta — că renunţarea la punctul său de vedere iniţial, la intenţia sa de determinare completă a conceptului de univers, nu este în mod necesar definitivă. Einstein ia act pentru prima oară în mod explicit — în memoriul său din 1945, după cum am mai spus — de posibilitatea unei pluralităţi de modele ; dar consecinţele ipotezei $\Lambda = 0$, în conformitate cu principiul „economiei logice", ca şi cu spiritul teoriei relativităţii, duc în acelaşi timp la ideea că problema cosmologică este cel puţin determinabilă. Aceasta confirmă că la bătrîneţe Einstein este încă şi mai convins decît la maturitate că toată raţionalitatea naturii se concentrează în ecuaţiile cîmpului şi că, dînd acestor ecuaţii o formă mai perfectă, idealul ştiinţei fizice poate fi încă atins. S-ar putea deci ca retragerea teoretică să nu fie decît provizorie : dacă teoria va ajunge să exprime mai bine legile structurii spaţiu-timp-ului populat de o materie-energie superdensă, dacă astronomia va detecta în Univers destulă materie pentru ca spaţiul să se închidă, atunci determinarea completă a geometriei prin conţinut va deveni posibilă. Nu este lipsit de interes să notăm că, în acest caz, Universul ar fi destinat unor oscilaţii periodice.

Dacă în 1945, atunci cînd reedita o operă scrisă cu mai mult de douăzeci de ani înainte, Einstein a dorit să adauge o anexă destul de cuprinzătoare asupra problemei cosmologice, aceasta nu se datoreşte faptului că ar fi avut ceva foarte nou de adăugat la discuţie din punct de vedere tehnic : „Ceea ce urmează, scrie el, anunţînd progresele matematice de mai tîrziu, nu este în esenţă nimic altceva decît o expunere a ideilor lui Friedman [2]". Dar, dacă revine, este pentru că studiul acestei probleme „nu a ajuns în nici un fel la o concluzie" ; de asemenea, „pentru că o discuţie mai exactă" i s-a părut necesară, pentru că „nu poate scăpa de impresia că în tratarea actuală a problemei, perspectivele cele mai

[1] *On the Cosmological...*, *mem. cit.*, d, p. 130.
[2] *On the Cosmological...*, *mem. cit.*, d, p. 112.

fundamentale nu sînt schiţate cu suficientă claritate[1]". Sub această frunte pe care au apărut ridurile, aceeaşi lumină vie şi rece străluceşte mereu în ochi; privirea se îndreaptă spre aceleaşi orizonturi, dar scopul s-a îndepărtat, calea pare mai lungă şi contemporanii se pierd pe drum...

Căci ei nu şi-au urmat deloc maestrul. Chiar cosmologii cei mai convinşi, ca şi el, de faptul că ştiinţa lor nu este decît o prelungire a teoriei relativităţii generalizate, s-au îndepărtat sensibil de vederile sale. Această atitudine este datorată în parte, desigur, dificultăţii legate de scara timpului. Acela pe care l-ar fi cucerit „economia logică" a soluţiei Einstein—de Sitter, era respins de neverosimilitatea empirică a singularităţii care apărea la două miliarde de ani în trecut. Dar probabil acesta nu era singurul motiv. Dezvoltarea cosmologică luase prea multă amploare, suscitase prea mult interes, deschisese prea multe perspective noi pentru ca pagina să poată fi întoarsă cu atîta uşurinţă şi pentru ca *Kosmologische Betrachtungen* — mai ales spiritul lor nou — să fie trecute la profituri şi pierderi în opera imensă a unui gînditor excepţional.

Constanta cosmologică făcuse deja carieră atunci cînd Einstein a vrut, dacă putem spune aşa, s-o retragă din circulaţie. Fără a vorbi de folosirea pe care i-o găsise Weyl cu ocazia tentativelor sale subtile şi dificile de generalizare a teoriei relativităţii (şi a căror examinare ar depăşi cadrul acestei lucrări), ea a devenit spre 1930 semnul de raliere al unei anumite cosmologii finitiste care, datorită personalităţii principalilor ei apărători — Eddington şi Lemaître — şi orientării sale filozofice, urma să cunoască celebritatea şi să suscite opoziţii vii. Rezervînd în altă parte filozofiei lui Eddington un studiu mai dezvoltat, nu vom reţine aici din gîndirea sa decît ceea ce este necesar pentru tabloul cosmologiei relativiste pe care îl facem şi, mai ales, pentru o înţelegere mai exactă, prin analogie şi prin diferenţă faţă de poziţia lui Lemaître, de care ne vom ocupa mai întîi.

C. Bazele filozofice ale cosmologiei, după abatele Georges Lemaître

Din punct de vedere istoric, opera lui Lemaître marchează tocmai tranziţia dintre perioada a cărei examinare am încheiat-o — cea a punerii la punct a cosmologiei relativiste — şi perioada

---

[1] *On the Cosmological..., mem. cit.*, d, p. 112.

următoare, în care vor fi la ordinea zilei, pe de o parte, cosmogonía, iar pe de alta, revizuirea relativității generalizate.

Pentru moment ceea ce ne interesează este filozofia lui Lemaître ; ea este simplă, lipsită de subterfugii și domină net dezvoltarea teoriei cosmologice.

Lemaître crede în posibilitatea adaptării gîndirii științifice la realitatea naturală ; el crede că gîndirea fizică poate ajunge la esența Universului, că lumea este finită, iar reprezentarea accesibilă înțelegerii umane. Formularea lui Pascal trebuie inversată și trebuie spus că, nefiind infinit nici ca întindere nici ca durată, Universul poate fi pus într-o proporție oarecare cu umanitatea. Știința nu are de ce să capituleze în fața Universului, iar Pascal o apucă pe o cale greșită atunci cînd încearcă să conchidă existența lui Dumnezeu din presupusa infinitate a naturii [1]. Mulțumită acestui instrument mai puternic de analiză care este matematica modernă, care dă un sens precis noțiunii de spațiu finit, este deci posibilă o soluție unică, realistă, adecvată problemei cosmologice. Această soluție este de fapt calea de mijloc între Universul lui Einstein — — real pentru că este omogen și finit, dar ireal pentru că este static — și Universul lui de Sitter — ireal pentru că este vid, dar real pentru că reprezintă termenul asimptotic al unei evoluții cosmice în care expansiunea spațiului diluează indefinit materia.

Pentru Lemaître, aparatul matematic al teoriilor moderne dezvăluie de fapt o structură cosmică esențial calitativă, determinată de jocul unor forțe contrarii, în care intervine „oroarea de vid”, și, în forma desăvîrșită a teoriei, un proces de pulverizare a energiei.

Dacă lumea așa cum a văzut-o pînă la urmă Lemaître nu ar avea o adevărată istorie, începînd de la o „stare singulară” care seamănă mai mult cu un echivalent fizic al creației biblice decît cu acțiunea unui *primum movens*, și dacă acordul dintre știința cosmică și obiectul său nu ar fi, în gîndirea lui și conform declarațiilor sale exprese, garantat de voința creatorului, am fi tentați să spunem că Lemaître este aristotelician. În încheierea unei conferințe referitoare la „mărimea spațiului”, Lemaître își invita auditoriul să fie mîndru de progresele științei și își exprima gratitudinea „față de cel care a spus „Eu sînt Adevărul”, care ne-a dat inteligența pentru a cunoaște adevărul și pentru a descifra

---

[1] G. LEMAÎTRE, *L'Hypothèse de l'atome primitif et le problème des amas de galaxies*, în *La Structure et l'Évolution de l'Univers*, Comunicările celui de-al XI-lea Consiliu de fizică Solvay, Stoops, Bruxelles, 1958, p. 6. Cu treizeci de ani mai înainte, la sfîrșitul notei sale asupra Universului lui de Sitter, Lemaître luase o poziție hotărîtă în favoarea finitismului.

un reflex al gloriei Sale în Universul nostru pe carel El l-a adaptat minunat facultăţilor de cunoaştere cu care El ne-a dotat [1]". Dacă există o structură metrică bine definită a Universului fizic şi dacă ea ne este accesibilă, aceasta se datorește deci divinității.

Nu este deci de mirare că la prima dintre întrebările puse de cosmologia relativistă, cea a finitudinii spațiului, Lemaître răspunde fără ezitare şi fără rezervă : finitudinea geometrică a spaţiului eliptic al lui Riemann îi permite reîntoarcerea la finitismul filozofic pe care evul mediu creştin îl moştenise de la Aristotel şi care este rezumat în *teza* primei antinomii a lui Kant. La Lemaître această alegere filozofică nu este prea solid justificată. Pentru el, finitismul este un mod optimist de a vedea lucrurile : un Univers infinit nu ar putea fi obiectul unei adevărate tratări ştiinţifice. Dar, după cum bine răspunde Tolman, în tot trecutul ştiinţei nu există nimic care ne-ar putea face să ne gîndim că ar trebui vreodată epuizat cîmpul investigaţiilor sale. „Într-adevăr, scopul ştiinţei a apărut întotdeauna pînă acum ca un orizont care se tot îndepărtează [2]". Lemaître a încercat să adauge acestui argument etic şi nesigur în favoarea finitismului un fel de demonstraţie, în care se amestecă în mod curios concepte aristotelice şi argumente matematice.

El reaminteşte cu multă competenţă că singura definiţie a infinitului care „să fi rezistat victorioasă criticii" este cea a lui Weierstrass [3] : o mulţime este infinită atunci cînd ea este egală cu una din părţile sale, egalitatea referindu-se la două mulţimi care pot fi puse în corespondenţă biunivocă. Or, această definiţie confirmă, după Lemaître, că nu putem avea, în Univers, o infinitate *actuală*; căci, dacă acceptăm acest lucru, „numărul stelelor care ar putea apărea este infinit", dar nu şi „numărul stelelor care există acum sau care vor exista la o epocă determinată". De ce? Pentru că aceasta revine la a şti dacă axioma „întregul este mai mare decît partea" se aplică mulţimii de stele; or, conchide Lemaître, „se pare că în afară de cazul cînd axiomele noastre cele mai direct evidente nu se mai aplică dincolo de Sirius şi Aldebaran, trebuie să tragem concluzia că numărul stelelor este finit [4]".

---

[1] G. LEMAÎTRE, *La Grandeur de l'Espace*, Revue des questions scientifiques, martie 1929; reprodus în *L'Hypothèse de l'atome primitif, op. cit.*

[2] R.C. TOLMAN, *Relativity, Thermodynamics..., op. cit.*, p. 484.

[3] Îi lăsăm lui Lemaître responsabilitatea acestei atribuiri. În general meritul acestei definiţii este atribuit lui Dedekind.

[4] *L'Hypothèse de l'atome primitif, op. cit.*, p. 36.

Ni se pare că argumentul se bazează pe un grav echivoc în ceea ce privește sensul cuvîntului „actual''. Nimic mai sigur decît că, în partea de lume pe care o cunoaștem, axioma „întregul este mai mare decît partea'' este întotdeauna verificată. Dacă, deci, „existența actuală'' se definește ca ceea ce avem din experiența efectivă — sau am putea avea printr-o serie de operații specificabile (de exemplu, numărînd nebuloasele vizibile cu ajutorul unui telescop), nu există evident infinit actual. Dar putem oare vorbi în acest sens de o *actualitate* a Universului total? Desigur nu în stadiul actual al cunoștințelor. O experiență efectivă a totalității cosmice nu este în mod sigur dată și nu poate fi descrisă de un program experimental cu toate elementele definite dinainte. Dacă există o actualitate a lumii totale, aceasta nu poate fi luată decît într-un alt sens, pe care ar trebui să-l precizăm, și din care infinitul nu poate fi exclus printr-o simplă referire la experiența noastră efectivă.

Ceea ce susține de fapt la Lemaître ideea actualității cosmice și ceea ce, în același timp, dă atîta siguranță viziunii sale cosmologice și mai tîrziu cosmogonice, este certitudinea intimă a unei posibile mărturii asupra cosmosului total, a unei intuiții directe asupra totalității universale, asemănătoare sau analoagă mărturiei pe care omul o are despre unul din fragmentele acestei realități. Pentru *Kosmotheoros* [1], actualitatea reprezintă actualitatea cosmică.

Probabil tot această certitudine este aceea care, în gîndirea lui Lemaître, susține ipoteza timpului cosmic; căci această ipoteză nu este niciodată formulată explicit, și cu atît mai puțin justificată. Pentru Lemaître este vorba desigur de un fel de evidență ontologică: existența fizică, „actuală'' a lumii antrenează după sine unicitatea timpului. Cu toate că Lemaître nu se exprimă în felul acesta, se poate considera din remarcile sale privind modelul lui de Sitter că aceasta este ceea ce gîndește. Dacă în acest Univers, spațiul și timpul nu se deosebesc prea bine și dacă separarea lor pare arbitrară, aceasta se datorește faptului, spune Lemaître, că Universul este vid; din momentul în care se pune materie în el, separarea se face de la sine, și se impune un sistem de coordonate în raport cu care spațiul este în expansiune. Pentru Lemaître, principiul lui Weyl este, pe scurt, fizico-ontologic.

Fiind admise finitismul și ipoteza timpului cosmic, destinul Universului depinde de valoarea lui Λ care trebuie aleasă; există atunci, așa cum am spus, o valoare critică, fie Λ_e, a acestei con-

[1] Aluzie la lucrarea lui *Ch. Huygens, Kosmotheoros.* — *N. T.*

stante care corespunde unei poziţii de echilibru a structurii cosmice, adică Universului static al lui Einstein [1]. Dat fiind modul în care Lemaître, ignorînd analiza mai generală a lui Friedman, abordase discuţia problemei cosmologice, ipoteza $\Lambda = \Lambda_e$ îi apăruse în mod natural; ceea ce căuta el de fapt, era o soluţie intermediară care să permită tranziţia între Universul lui Einstein şi cel al lui de Sitter [2]. Aceasta permitea în plus să se utilizeze relaţia simplă pe care o stabilise Einstein, în cazul sferic şi static, între Λ şi raza Universului; se putea obţine astfel o estimare indirectă a razei iniţiale a Universului.

Acest mod de a introduce cosmologia nestatică — identificînd Universul real cu un Univers al lui Einstein în expansiune — avea avantajul (aparent) faţă de procedeul mai general al lui Friedman de a da dintr-o dată lui Λ şi expansiunii o semnificaţie realistă şi intuitivă, aceea a unei forţe cosmice de repulsie, care în starea statică este în echilibru cu gravitaţia, forţă de atracţie. Cum forţa de repulsie exprimată prin Λ creşte, în virtutea ecuaţiilor cîmpului, cu distanţa relativă dintre elementele materiei, se poate concepe că, odată ce raza depăşeşte valoarea de echilibru, repulsia întrece din ce în ce mai mult atracţia.

Această imagine este simplă şi are avantajul, pentru spiritele care preferă reprezentările concrete, de a prezenta expansiunea sub un aspect cauzal (ceea ce de fapt nu duce cu nimic mai departe, dar poate da impresia unei înţelegeri mai intuitive şi mai realiste[3]). La Lemaître, această idee se aliniază cu uşurinţă într-o concepţie mai curînd aristoteliciană asupra Naturii, aşa cum reiese din pasajul următor, destul de semnificativ pentru această stare de spirit:

„Totul se petrece ca şi cum materia ar avea oroare de vid, ca şi cum vidul ar exercita o forţă repulsivă asupra materiei [4]".

Dar oricît de naturală şi de „intuitivă" din punct de vedere fizic ar fi alegerea constantei Λ_e corespunzătoare valorii de echili-

---

[1] Anexa, fig. II.

[2] *Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques*, Ann. Soc. Sc. de Bruxelles, 47A, 1927, pp. 49—59. Tradus în engleză în M.N.R.A.S., 91, 1930—1931, pp. 483—489.

[3] Eddington scria în 1933, fără a fi absolut sigur, că posibila identificare a lui Λ cu o forţă repulsivă fusese înţeleasă încă dinainte de 1922. Dacă este aşa, este de mirare că această imagine nu a condus de la sine la descoperirea cosmologiei nestatice. Ea nu joacă însă nici un rol în raţionamentele lui Friedman, ceea ce ar confirma părerea atît de frecvent susţinută de d-ra Bachelard, că nu imaginile fizice sînt creatoare, ci dezvoltările lor matematice. *The Expanding Univers*, Cambridge U.P., 1933, p. 50.

[4] *L'Hypothèse de l'atome*, . . ., *op. cit.*, p. 105; citatul este extras dintr-o expunere publică ţinută în decembrie 1934 la Academia regală din Belgia; nu este deci vorba de un simplu artificiu de popularizare.

bru indicată de ecuațiile lui Friedman, nu putem găsi pe această cale o justificare suficientă pentru această alegere, mai ales într-o teorie în care echilibrul nu este decît o stare ideală a Universului, cel mult trecătoare. Lemaître a apărat-o deci cu argumente mai abstracte, care, bineînțeles, au drept principiu faptul că ecuațiile cîmpului cu termenul cosmologic sînt ecuațiile cele mai generale, care satisfac toate condițiile impuse de axiomele relativității generalizate.

Această argumentație asupra constantei cosmologice se dezvoltă pe de-a întregul într-un memoriu relativ tîrziu, publicat în 1949, în volumul consacrat lui Einstein cu ocazia celei de-a șaptezecea aniversări[1] : Λ trebuie să fie considerată ca o constantă de integrare. Într-adevăr, faptul că materia-energia cosmică trebuie să se supună unei condiții de conservare, că distribuția prezentă a acestei materii nu poate fi complet independentă de distribuția sa în trecut, impune o limitare în alegerea valorilor posibile ale curburii spațiale.

Adevăratele relații fundamentale sînt deci niște identități diferențiale (vezi Anexa, I, ec. 25), a căror formă integrală o reprezintă ecuațiile lui Einstein. Dar atunci, în aceste ecuații este introdusă o constantă de integrare pe care teoria o lasă nedeterminată și care este legată tocmai de Λ. Lemaître confirmă din punct de vedere fizic „utilitatea logică" a lui Λ prin următorul raționament : teoria relativității identifică masa și energia ; masa gravitațională este deci o formă a energiei. Energia este însă o mărime care nu se definește niciodată decît făcînd abstracție de o constantă. Or, a-i da lui Λ valoarea zero, înseamnă a presupune fără nici o dovadă că nivelul convențional de la care fizicienii calculează de obicei energia este mai important decît oricare altul.

Fără îndoială, argumentul își are valoarea sa, dar în raport cu cosmologia lui Lemaître el dovedește prea mult ; căci ar trebui arătat că Λ_e definește pentru energie un nivel fundamental mai puțin arbitrar decît nivelul zero al lui Einstein. Or, faptul că Λ_e corespunde unui echilibru imposibil de atins al Universului închis nu prea este în favoarea acestei interpretări, avînd în vedere că, în cosmologia lui Lemaître, acest echilibru nu reprezintă starea inițială a Universului, ci o stare de simplă tranziție. Dealtfel, Lemaître însuși recurge și la argumente mai empirice, invocînd mai ales dificultățile legate de scara timpului, pe care le-am menționat mai înainte.

---

[1] G. LEMAÎTRE, *The Cosmological Constant*, în *Einstein, Philosopher-Scientist*, *op. cit.*, pp. 439–456.

Acest *qui pro quo* dintre Einstein, pe de o parte, şi apărătorii constantei cosmologice, pe de alta, este destul de neobişnuit. În memoriul pe care tocmai l-am citat — şi care figurează într-o carte dedicată lui Einstein — Lemaître atribuie unui „accident fericit" descoperirea, în 1917, a constantei cosmologice şi a formei definitive a ecuaţiilor cîmpului. Pentru cine a citit *Kosmologische Betrachtungen*, expresia sună destul de ciudat şi, dacă ar fi existat cu adevărat un „accident", Einstein nu ar fi fost înclinat să-l considere „fericit". Într-o altă scriere a lui Lemaître, aproape contemporană, descoperirea lui Λ de către Einstein nu mai este considerată ca accidentală, ci devine „genială"[1]. Este totuşi greu de crezut că Einstein a putut fi depăşit în acest punct de străfulgerările propriului său geniu.

Este adevărat că, la cîţiva ani după moartea lui Einstein, Lemaître a mărturisit că aceste vorbe nu erau de fapt decît un şiretlic pios din partea sa: punînd problema constantei cosmologice în lucrarea dedicată lui Einstein, el dorea mai ales să-l atragă pe acesta la o nouă examinare a poziţiei sale[2]. Tentativă zadarnică, pentru că Einstein răspunde menţinîndu-se strict la teza pe care am indicat-o, adăugînd că, în ochii săi, alegerea unui Λ diferit de zero nu modifică cu nimic dificultatea legată de scara timpului, a cărei singură origine, după el, era valoarea empirică a constantei de recesiune[3].

D. Eddington şi constanta cosmologică

În privinţa a două probleme cruciale ale cosmologiei relativiste există importante similitudini între concepţiile lui Lemaître şi cele ale lui Eddington; numele acestora sînt dealtfel asociate în referirea curentă cu un Univers relativist finit, aflat în expansiune monotonă pornind de la valoarea de echilibru a lui Einstein, atinsă asimptotic la infinit în trecut. Într-adevăr, Eddington a fost acela care, în 1930, în acelaşi timp cu de Sitter, „a descoperit", a apreciat la justa sa valoare şi a făcut cunoscut memoriul lui Lemaître din 1927, ignorat pînă atunci sau prost înţeles de astronomii şi teoreticienii relativişti. Reciproc, Lemaître pare a fi suferit într-o oare-

---

[1] G. LEMAÎTRE, *L'Univers*, Louvain, Nauwelaerts, 1950, p. 42.

[2] *L'hypothèse de l'atome primitif et le problème*... în *La Structure et l'Evolution de l'Univers, op. cit.*, p. 15.

[3] A. EINSTEIN, *Reply to Criticism*, în *Einstein, Philosopher-Scientist, op. cit.*, p. 684.

care măsură ascendentul acestei extraordinare personalități. Pe de altă parte, oricît de îndepărtate de catolicism ar fi putut fi concepțiile religioase ale lui Eddington, atașamentul său față de creștinism era prea puternic și prea profund pentru a nu crea un fel de complicitate tacită între el și Lemaître.

Dar, dacă se examinează cu atenție — chiar considerînd numai perioada anterioară elaborării teoriei finale — motivele finitismului lui Eddington și interpretarea dată de el constantei cosmologice, se observă că înrudirea filozofică este cu mult mai îndepărtată decît pare la prima vedere. În afară de faptul că, spre deosebire de Lemaître, Eddington nu s-a raliat niciodată la ideea unui început al Universului în stare singulară, modul său de a înțelege finitismul și constanta cosmologică este cît se poate de străin de realismul lui Lemaître; dacă crede și el că Universul, așa cum îl gîndim noi, poate să coincidă cu cel real, acest lucru trebuie înțeles într-un sens cu totul diferit de acela că proprietățile structurii fizico-matematice a Universului trebuie să poată fi determinate aprioric prin condițiile impuse de o cunoaștere metrică a lucrurilor.

Făcînd aluzie la interpretarea termenului cosmologic ca expresie a unei repulsii cosmice, Eddington spune că, în acest sens, nu a găsit în dezvoltările lui Friedman și Lemaître nici o aluzie „la ceva atît de grosier ca forța"[1]. El îi împrumută astfel generos lui Lemaître propria sa finețe epistemologică. Căci Eddington — poate și Friedman — dar nu Lemaître, este acela care găsește prea grosieră imaginea forței pentru a reprezenta constanta cosmologică: el se gîndea de mai mult timp să-i atribuie lui Λ un sens filozofic mult mai subtil și mai profund.

O carte publicată în 1920[2] dovedește că Eddington nu a primit fără interes cosmologia lui Einstein, dar a avut anumite rezerve. Ceea ce el nu aprecia prea mult era mai ales ideea unei determinări universale și totale a metricii spațiale de către materie, și aceasta din motive filozofice. Este vorba de un fel de aversiune spontană față de tendința materialistă pe care o remarca la relativiștii „continentali".

Ceea ce îi atrăgea atenția mai mult decît cosmologia lui Einstein, era teoria lui Weyl, aflată pe atunci în curs de elaborare. Evident, în afara speranței unei unificări teoretice a forțelor fizice, el găsea aici ideea că curbura spațiului ar putea avea sensul unui fel de unitate naturală de lungime. Or, această idee nu va face decît

[1] *The Expanding Universe*, *op. cit.*, p. 50. Vezi nota autorului de la p. 89.
[2] *Space, Time, Gravitation*, Cambridge U.P., 1920.

să se confirme, să se precizeze și să se amplifice în operele ulterioare ale lui Eddington și în așa fel încît — ținînd cont de numeroasele variațiuni pe această temă — în filozofia naturii a lui Eddington se vor găsi întotdeauna trei principii inseparabil asociate:

1. Ecuația corectă a gravitației este cea care conține termenul cosmologic, iar Λ are valoarea Λ_e.

2. Λ_e, care este egal cu inversul pătratului razei de curbură a Universului sferic al lui Einstein, definește etalonul absolut de lungime.

3. Spațiul este închis.

La Eddington nu se găsește, ca la Lemaître, o justificare specială a ipotezei finitiste, exceptînd teoria sa finală, unde finitudinea Universului și principiul cuantic de nedeterminare sînt asociate analitic. Pînă atunci, Eddington, s-a făcut întotdeauna că ignoră faptul că rămînînd în cadrul rezultatelor indiscutabile ale cosmologiei relativiste, semnul curburii spațiului și valoarea lui Λ sînt independente. În afara faptului că ideea de infinit era contrară sensibilității sale filozofice (el vorbește de „coșmarul infinitului[1]"), fără îndoială el se angajase de prea multă vreme pentru a mai putea da înapoi, într-o concepție originală și fascinantă în privința relațiilor dintre legile fizice și exigențele metrice ale înțelegerii fizice.

Într-adevăr, interpretarea lui Λ ca etalon de lungime este expusă cu precizie în *Prelegerile Gifford* din 1927. Or Eddington nu face încă nici o aluzie la posibilitatea unei cosmologii nestatice; memoriul lui Lemaître nu fusese încă publicat și poate că pe cele ale lui Friedman nu le cunoștea. Prezentînd modelul lui de Sitter ca o explicație posibilă a deplasării spre roșu, el nu dă acestui efect sensul unei dilatări a spațiului; poate că, în plus, el nu era încă perfect conștient de faptul că o valoare pozitivă a lui Λ nu implică neapărat închiderea spațiului.

El consideră, în orice caz, această închidere ca un rezultat deja cîștigat, care trebuie să pună capăt penibilei oscilări a imaginației incapabile să conceapă spațiul infinit și să-l vadă în același timp mărginit. Dealtfel, nici geometria sferică sau eliptică nu se poate imagina, dar ea pune cel puțin capăt zbuciumului rațiunii, dacă nu celui al imaginației. Ea este dificil, dar nu imposibil de conceput[2].

---

[1] *The Nature of the Physical World*, Gifford, Lectures, 1927, Cambridge U.P., 1929, p. 83.

[2] *Ibid.*, p. 80.

Dar principala calitate a finitismului modern nu este aceea de a liniști imaginația, ci de a se asocia singurei interpretări cu adevărat satisfăcătoare a legii gravitației. Într-adevăr, prevăzute cu termenul cosmologic, ecuațiile lui Einstein permit să se definească în fiecare punct și în orice direcție o rază de curbură constantă, a cărei simplă existență permite să se dea un răspuns satisfăcător la întrebarea : „Își păstrează metrul aceeași lungime atunci cînd îl plasăm într-un punct oarecare și îl orientăm într-o direcție oarecare?"

Fără îndoială un spațiu cu o curbură cu totul arbitrară se poate concepe din punct de vedere matematic, dar el este o imposibilitate pentru o lume *văzută din interior* și măsurată cu ajutorul unor norme care îi sînt intrinseci. Eddington crede că regăsește în felul acesta — dîndu-le adevărata semnificație — obiecțiile făcute de Whitehead teoriei generale a relativității, care ar avea, după acest filozof, inconvenientul de a da o lovitură indispensabilei uniformități a relațiilor spațio-temporale care trebuie să formeze baza operațiilor metrice[1].

Eddington și-a fixat deci încă din 1927 poziția în problema cosmologică ; de aceea întîmpină el cu atîta bunăvoință, în 1930, soluția lui Lemaître care păstrează avantajele soluției lui Einstein (furnizînd etalonul de lungime) și, în același timp, explică foarte simplu deplasarea spre roșu a nebuloaselor. El declară, dealtfel, în memoriul său asupra instabilității Universului lui Einstein, că, „din rațiuni filozofice", rămîne „o oarecare îndoială" că ecuația corectă a gravitației ar fi cea din *Kosmologische Betrachtungen* cu termenul cosmologic și trimite în mod expres la capitolul VII al cărții *The Nature of the Physical World*.

În 1933, cînd publică *The Expanding Universe*, unde se schițează teoria finală, Eddington își expune tezele cu o siguranță deplină : Λ trebuie să aibă o valoare pozitivă, deoarece un etalon de lungime trebuie să existe. Teoria lui Weyl arată că numai cu această condiție se poate concepe unitatea forțelor fizice. El, Eddington, ar prefera să revină la teoria newtoniană mai curînd decît să abandoneze constanta Λ. Dacă teoria relativității ar trebui să cadă, constanta cosmologică ar fi ultimul bastion care s-ar prăbuși ; a abandona această constantă, ar însemna de fapt „privarea spațiului de fundamentul său[2]". Universul sferic în expansiune, cu $\Lambda = \Lambda_e$, va deveni *uranoidul*, adică cîmpul metric

---

[1] *Ibid.*, cap. VII, pp. 138—146. Aceste dezvoltări sînt dificile; ele anunță cîteva teme importante din *Fundamental Theory*.

[2] *The Expanding Universe*, *op. cit.*, p. 107.

fundamental ale cărui proprietăţi se confundă cu legile structurale ale realităţii fizice. Eddington va spune cu violenţă în ultima sa carte că „Universul infinit este de mult mort şi îngropat; aceia care se încăpăţînează în dorinţa de a dezgropa cadavrul trebuie să se considere obsedaţi[1]".

Astfel, în prezenţa opţiunilor pe care le impune în 1930 căutarea unei soluţii determinate a problemei cosmologice, în cadrul fizicii relativiste, poziţia lui Eddington este motivată, de foarte sus şi de foarte departe, de o filozofie a ştiinţei şi a naturii care îşi are originea într-o meditaţie asupra sensului epistemologic al teoriei relativităţii, şi care era atunci pe cale de desăvîrşire. Această mişcare a gîndirii s-a declanşat prea timpuriu, înainte ca analiza teoretică, dificilă şi făcută prin tatonări, să fi scos în evidenţă faptul că dimensiunile problemei erau într-o oarecare măsură mai numeroase decît se crezuse la început. Dar, spre deosebire de Einstein, care era dealtfel de mult avertizat asupra riscurilor şi dificultăţilor unei astfel de acţiuni printr-un studiu atent al discuţiei lui Friedman, Eddington nu a putut, şi mai ales nu a vrut să dea înapoi; într-o altă lucrare a noastră vom încerca să înţelegem de ce[2].

E. R. C. Tolman: empirism şi cosmologie

Pentru Tolman, cosmologia este o amplificare, îndreptăţită de observaţie, a cîmpului de aplicare a teoriei relativităţii generalizate, ea însăşi o teorie obţinută plecînd de la experienţă. Etape succesive ale unei aceleaşi mişcări inductive conduc deci de la teoria relativităţii restrînse la definirea structurii Universului şi la studiul proprietăţilor fizice ale totalităţii cosmice[3].

Epistemologia lui Tolman este în conformitate cu tradiţia empiristă şi pentru el nu este vorba, ca pentru Einstein în 1917, să caute în sinteza cosmică desăvîrşirea logică a unei teorii fizice. Totuşi, între filozofia empiristă şi ştiinţa despre Univers apare

---

[1] *Fundamental Theory*, Cambridge U.P., 1948, § 38, p. 76.

[2] Vezi J. MERLEAU-PONTY, *Philosophie et théorie physique chez Eddington*, Paris, Les Belles Lettres, 1965. — *N.R.*

[3] În felul acesta este construită marea operă de sinteză a lui Tolman, în care principalele categorii de fenomene fizice (mecanică, electromagnetism, termodinamică) sînt prezentate succesiv la trei nivele de generalizare: relativitate restrînsă, relativitate generalizată, cosmologie. Această lucrare este *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, Clarendon Press, Oxford, 1934 (reeditată în 1946, 1949 şi 1958).

inevitabil o anumită tensiune al cărei spirit lui îi era probabil esențial străin. În aceasta rezidă pentru noi interesul particular al marii sinteze a lui Tolman[1].

Trebuie să notăm mai întii că Tolman adoptă o poziție cu totul diferită de cea a lui Einstein în privința semnificației constantei Λ, incorporînd termenul cosmologic în ecuațiile cîmpului din teoria relativității generalizate înainte de orice referire la problema cosmologică[2], cu toate că opțiunile filozofice ale lui Eddington și Lemaître erau foarte îndepărtate de ale sale. Or, fără a mai vorbi de „principiul economiei logice" — căruia Tolman nu îi atribuie desigur aceeași valoare ca Einstein, remarcînd că speranța fizicienilor de a obține legi simple a fost deseori dezamăgită[3] — acest mod de a proceda nu se justifică prin nici un motiv empiric ; în măsura în care ecuațiile cîmpului sînt verificate de experiență, termenul în Λ este absolut inutil, influența sa asupra soluțiilor fiind neglijabilă la orice scară infracosmică.

Dealtfel, Tolman găsește o justificare a alegerii sale în rațiunile matematice pe care le-am amintit : înzestrate cu termenul în Λ ecuațiile cîmpului iau forma cea mai generală compatibilă cu axiomele teoriei (în particular, divergența tensorului energiei rămîne nulă). Dar acest motiv matematic ascunde un altul mai puțin explicit, dar care se poate totuși observa, acela că pur și simplu lui Tolman îi repugnă să-și limiteze aprioric posibilitățile extrapolării cosmologice. El recunoaște că, în orice caz, constanta cosmologică este foarte apropiată de zero. Dar cum, la scară foarte mare, chiar o valoare foarte mică a constantei Λ poate să producă efecte observabile, el reține „din considerente cosmologice" posibilitatea ca Λ să nu fie identic nulă. Pe scurt, din acest moment apare în ceea ce s-ar putea numi „conștiința epistemologică" a lui Tolman, un compromis între morala empiristă și tentația cosmologică. Regula nu recomandă constanta cosmologică Λ ; cel

---

[1] Faptul acesta nu privează desigur această operă de meritele sale excepționale, care sînt: *a.* Claritatea expunerii, limpezimea imaginii generale, rigoarea epistemologică (Tolman fiind de la un capăt la altul credincios principiului de a prezenta ideile și calculele din punctul de vedere al fizicianului sau al astronomului care realizează efectiv experiențele sau observațiile) ; la care trebuie adăugată o judecată ponderată. *b.* La fiecare nivel, Tolman examinează incidența generalizării asupra fenomenelor termodinamice, fapt capital din punct de vedere al evoluției cosmice, așa cum vom constata într-un capitol ulterior. Faptul că însuși Einstein a făcut recenzia acestei cărți în revista Science (seria nouă, *80*, 1934, p. 358) este o mărturie destul de elocventă.

[2] *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, p. 189. Cosmologia începe la p. 331.

[3] „...istoria eforturilor umane pentru înțelegerea Universului nu ar îndreptăți desigur postularea apriorică a simplicității matematice a naturii" (*Relativity, Termodynamics,...op. cit.*, p. 361).

mult o autorizează, făcînd ca apetitul cunoașterii cosmice să nu mai fie atît de sever condus de rațiune. Remarcăm aici că în conștiința einsteiniană regula este mai severă, dar acești doi creatori nu urmăreau același lucru ; nu era vorba de a privi mai departe, ci de a vedea mai în profunzime și interesul pentru depărtări se diminuează din momentul în care nu mai este esențial ca acestea să fie cunoscute pentru a introduce cunoașterea în experiență.

Înarmat cu o lege locală ireproșabilă din punct de vedere al logicii și al experienței, dar suficient de suplă, Tolman poate practica „aplicarea la cosmologie" — o expresie pe care el o utilizează și care exprimă foarte bine punctul său de vedere. Deoarece teoria relativistă se bazează pe numeroase fapte experimentale[1], deoarece este bine verificată la scara sistemului solar, putem încerca, asumîndu-ne toate riscurile, să o aplicăm unor sisteme și mai vaste, și în cele din urmă Universului în întregime, „program ambițios, plin de riscuri dar în aceeași măsură de interes".

Or, ce ne-ar îndemna să ne asumăm un astfel de risc, dacă nu dorința de cunoaștere? Este limpede că în acest punct motivarea empirică nu mai este suficientă și, într-un mod foarte semnificativ, îl vedem pe Tolman juxtapunînd într-o aceeași frază două motive de natură diferită, ba chiar aproape contrarii unul față de altul. Iată această frază, redată integral :

„Pentru a justifica extrapolarea, nu ne putem sprijini decît, în primul rînd, pe raționalitatea remarcabilă și coerența logică internă a teoriei relativității, care fac probabilă legitimitatea unor aplicații foarte largi și, în al doilea rînd, pe tendința observată a stelelor de a se grupa în nebuloase și a nebuloaselor de a se prezenta și ele grupate pînă la un anumit punct, ceea ce face să pară cel puțin probabilă, pentru distanțe foarte mari, o acțiune gravitațională de felul celei pe care o prevede teoria relativistă[2]."

Dar, dacă raționalitatea internă a teoriei este cea care justifică extrapolarea cosmologică, înseamnă că această raționalitate este chiar cea a Universului, și cel mai bun mijloc de a ne feri de pericolul erorii și al divagației nu este acela de a privi cerul, care de la distanță nici nu se vede bine, ci de a ne asigura mersul printr-o logică riguroasă ; și, pe de altă parte, dacă extrema generalitate a existenței gravitației este aceea care autorizează extrapolarea, atunci logica internă a teoriei relativității nu este decît o împreju-

[1] Nu trebuie să uităm că toate faptele care justifică teoria newtoniană a gravitației pot fi invocate și în favoarea teoriei relativității generalizate, care nu este totuși o generalizare a primeia, ci o teorie de altă natură, în raport cu care teoria newtoniană apare ca o aproximare foarte bună.

[2] *Ibid.*, p. 331.

rare fericită, lipsită însă de o semnificație intrinsecă deosebită. Dealtfel, adaugă Tolman mai simplu și mai „sincer", relativitatea oferă singura teorie posibilă a gravitației „și, prin urmare, sîntem forțați să folosim această teorie dacă dorim să dezvoltăm într-un mod oarecare speculațiile noastre cosmologice". Cosmologia este prezentată deci pînă la urmă ca un scop demn de interes prin el însuși, iar teoria relativității ca singurul mijloc de a-l atinge.

Găsim la Tolman, pînă în detaliul deducției, grija unei ajustări între prescripțiile și interdicțiile epistemologiei empiriste și exigențele proprii ale gîndirii cosmologice. Partea principală a sistemului conceptual al cosmologiei relativiste este evident construirea elementului ds^2, adică a formei metrice a spațiu-timp-ului cosmic. Pentru a rămîne cît mai aproape de observație, Tolman evită — ca și Einstein dealtfel, cu toate că într-un spirit mult diferit — să facă direct apel la principiul lui Weyl. Separarea timpului cosmic trebuie să rezulte numai din principiul izotropiei spațiale care, el însuși, poate fi considerat, după cercetările de la Mount Wilson, ca un fapt observat de om cel puțin pînă la distanța la care acesta poate privi. Izotropia antrenează omogeneitatea[1] și separarea timpului cosmic — și în această privință Tolman se arată deosebit de explicit și de grijuliu.

Dar, înlăturînd în acest fel apriorismul principiului lui Weyl, Tolman nu este totuși chit cu „supra-eul" său epistemologic. Ceea ce se constată este izotropia spațiului în raport cu noi, în anumite limite și într-o anumită epocă. Or, asupra acestui punct empiristul Tolman nu își face iluzii și nu vrea să cedeze în fața cosmologului Tolman, nici în fața cititorilor săi seduși de tentația științei cosmice : „...cu toate că am putea face în mod rezonabil cîteva extrapolări spre distanțe mai mari plecînd de la condițiile observate în imediata noastră vecinătate, nu avem nici o justificare reală pentru a presupune că Universul întreg are aceleași proprietăți ca și porțiunea pe care am văzut-o deja"[2].

Ne-am putea îngădui să continuăm raționamentul remarcînd că ceea ce este adevărat acum riscă să nu fie întotdeauna așa :

---

[1] În ceea ce privește raportul dintre izotropie și omogeneitatea spațiului, elaborarea matematică a conceptelor confirmă intuițiile simple (deși o dată nu înseamnă regula...) : se poate concepe fără prea multă dificultate că, dacă un observator a cărui privire ajunge oricît de departe vede un spectacol identic în toate direcțiile, aceasta este o probă aproape sigură că proprietățile Universului sînt efectiv identice în orice punct. În caz contrar, trebuie să presupunem că observatorul este chiar în centrul de simetrie al sistemului, ipoteză antropocentrică improbabilă. Valoarea acestui raționament simplu este dealtfel confirmată de o teoremă.

[2] *Relativity, Termodynamics..., op. cit.*, p. 332.

cosmologia se bazează, pe scurt, pe o observaţie unică, care poate să se lărgească şi să se precizeze, dar ale cărei condiţii fundamentale nu pot varia pentru că este vorba întotdeauna de aspectul global al Universului, văzut dintr-un punct unic al spaţiu-timpului (durata observaţiilor umane este neglijabilă la scara cosmică). Însă un raţionament prin inducţie care pleacă de la o observaţie unică pentru a conchide un ansamblu de propoziţii al căror subiect, Universul, este un unicat, nu poate revendica nici cea mai mică verosimilitate dacă vreunei axiome sau convenţii nu i se garantează aprioric cel puţin posibilitatea. Strict vorbind, pentru epistemologia empirică cosmologia nu este o ştiinţă care poate fi admisă. Tolman o ştie dealtfel, tocmai el, care, după ce convenise că singura sarcină posibilă pentru cosmologie este de a examina *modele*, se crede obligat să justifice această sarcină — şi aproape să-l scuze pe cel care i se dedică — prin contribuţia sa la înţelegerea naturii la cea mai mare scară posibilă, „ţel care nu este întrecut în nobleţe de nici unul din cele pe care spiritul uman le poate concepe"[1].

Ataşamentul lui Tolman la valorile experienţei este atît de profund, încît tot ceea ce se îndepărtează, tot ceea ce trebuie să fie pus categoric în afara şi deasupra ei, tinde să-şi piardă valoarea în ochii săi. Astfel, ipoteza izotropiei spaţiale, care este fundamentală, după cum am văzut, pentru deducerea lui ds^2, este însoţită de atîtea restricţii încît pînă la urmă nu mai este decît o „ipoteză de lucru sugerată de stadiul actual al cunoaşterii noastre observaţionale"[2]. Şi Tolman are desigur dreptate să sublinieze în legătură cu aceasta marea diferenţă dintre punctul său de vedere şi cel al lui Milne, căruia îi citează cu această ocazie una dintre primele lucrări din domeniul cosmologiei. În sfîrşit, independent de virtuţile sale operatorii, principala valoare a principiului izotropiei spaţiale părea a fi pentru Tolman aceea că el evită antropocentrismul. Există dealtfel în această concepţie, negativă în aparenţă, multă profunzime, dar nu este încă momentul să ne oprim asupra ei.

Dealtfel dacă se admite că, îmbătrînind, un gînditor se reîntoarce la el însuşi şi că filozofia sa primă este cel mai bine exprimată în ultimele sale cugetări, nu rămîne nici o îndoială că înţelepciunea empirismului şi supleţea sa în faţa realului îl caracterizau mai mult pe Tolman decît îndrăzneala şi rigiditatea monistă a spiritului cosmologic. Într-un *Memorandum* postum privind vîrsta Universu-

---

[1] *Relativity, Termodynamics,...*, p. 333.
[2] *Ibid.*, p. 363.

lui[1], afirmînd convingerea sa că teoria relativităţii generalizate este superioară oricărei alteia, Tolman sugerează totuşi că dificultăţile întîmpinate în aplicarea acestei teorii la problema cosmologică se datorează excesului de importanţă acordat pînă atunci postulatului că Universul este omogen. El trece în revistă mai multe motive pentru a-l pune în mod serios la îndoială şi îşi mărturiseşte cu o evidentă sinceritate speranţa că telescopul de la Mount Palomar — care tocmai îşi începea activitatea — va pune mai bine în evidenţă această lipsă de omogeneitate, relevînd poate prezenţa unor regiuni cosmice în contracţie, alături de altele în expansiune. Se ştie că aceasta nu s-a întîmplat.

F. Motivele şi temele directoare ale unei noi cosmologii

Aşadar, în tabloul Universului aşa cum îl vedea cosmologia relativistă din 1930, cosmologia lui Friedman, există în acelaşi timp trăsături extrem de nete şi de izbitoare, precum şi altele supărător de vagi, pe care fiecare autor era mai mult sau mai puţin tentat să le precizeze, proiectînd asupra lor propria sa filozofie a ştiinţei sau a naturii. Înviorarea dezbaterii cosmologice care se va produce în deceniul al patrulea şi avîntul unei mişcări a gîndirii căreia nu i se poate nega, cel puţin, măreţia şi îndrăzneala trebuie înţelese ţinînd seama de toate acestea.

Trăsăturile frapante — şi acesta este de fapt leitmotivul întregii gîndiri cosmologice contemporane — erau, mai întîi, ipoteza uniformităţii, confirmată de observaţie, şi apoi consecinţele relativ simple care se puteau trage de aici graţie teoriei relativităţii generalizate, în ceea ce priveşte reprezentarea matematică a Universului considerat ca un tot. Altfel spus, rezulta că gîndirea cosmologică era permisă, că Universul putea fi gîndit şi nu numai visat, şi că cea mai generală dintre teoriile fizice susţinea această gîndire. Astfel astronomia şi teoria relativităţii făceau să renască dorinţa stăpînirii intelectuale a naturii şi reînsufleţeau pasiunea greacă pentru contemplaţia cosmică.

Mai ales, această structură a Universului, parţial nedeterminată, avea cel puţin acea trăsătură indiscutabilă de a fi în mod esenţial în mişcare. Nici o reprezentare matematică a Universului, spunea teoria, nu este posibilă fără separarea formei spaţio-tem-

---

[1] R.C. TOLMAN, *The Age of the Universe*, Rev. Mod. Phys., 21, 3, 1949, pp. 374–378.

porale în spaţiu şi timp cosmic; dar odată evidenţiat timpul cosmic, tot sistemul se pune în mişcare. În prezenţa devenirii, ideea de început şi de sfîrşit, cea de cauzalitate, se impun în mod natural şi, dacă este vorba de devenirea naturii, mişcarea cea mai naturală a gîndirii este cea care urcă spre origine[1]. Or dacă, aşa cum se întîmplă adesea, teoria matematică lasă nedecis sensul mişcării, observaţia, în schimb, îl fixează fără echivoc, arătînd Universul în expansiune şi conducînd privirea spre o stare originară, condensată, singulară, de neconceput din punct de vedere fizic dar implicată matematic în cea mai mare parte a soluţiilor compatibile cu ipotezele. Trebuie să adăugăm valoarea extrem de mică a timpului cosmic — mai puţin de două miliarde de ani — impusă, pînă în 1952, prin evaluarea constantei lui Hubble.

Dacă se remarcă în sfîrşit că această epocă, în care se încheie punerea la punct a elementelor indiscutabile ale cosmologiei relativiste, este de asemenea cea în care progresele conjugate ale astrofizicii şi ale fizicii nucleare au deschis perspective noi în ceea ce priveşte geneza sistemelor fizice gigantice, cum sînt stelele, şi infinitesimale, cum sînt atomii, şi au aruncat o punte de legătură între unele şi celelalte, se înţelege de ce, între 1930 şi 1950, efortul multor teoreticieni s-a îndreptat asupra căutării unei cosmogonii în aceeaşi măsură — şi chiar mai mult — decît asupra determinării structurale a cadrului metric al Universului.

Posibilitatea şi permanenta tentaţie de a trece dincolo de frontierele ştiinţei pozitive — în orice caz, imperioasa necesitate de a stabili cu precizie aceste frontiere — apăreau odată cu această căutare. Rareori se impusese atît de net ideea că anumite caractere ontologice ale naturii, în special temporalitatea, impun cunoaşterii fizice certitudinea limitării sale. Conceptul de *creaţie*, uitat de mult timp de filozofia naturii, se ivea din nou în gîndirea şi în scrierile cosmologilor.

Aspectul dinamic al Universului se impunea deci. În schimb, determinarea exactă a unei structuri geometrice singulare adecvate lumii reale — în aproximaţia ipotezelor de uniformitate — părea imposibilă sau hazardată, expusă unor incertitudini legate de opinie şi de credinţă. Paralel, axiomatica cosmologiei rămînea încă nesigură din punct de vedere filozofic, deşi din punct de vedere tehnic era viabilă. Însăşi forma ecuaţiilor care urmau să fie aplicate era îndoielnică, fără a se putea evidenţia vreun argument decisiv pentru sau contra introducerii termenului cosmolo-

---

[1] Pentru Kant, după cum se ştie, infinitatea timpului în viitor nu dă loc la nici o antinomie.

gic, de care depindeau atîtea lucruri. Trebuia oare aleasă formula cea mai simplă, sau cea mai generală? Trebuia înlăturată constanta Λ pentru că aceasta complică ecuaţiile şi nu poate fi determinată prin experienţă? Trebuia, dimpotrivă, menţinută pentru că este justificată din punct de vedere matematic şi dă în mod natural teoriei relativităţii o prelungire cosmică? Cum să răspunzi unor astfel de întrebări altfel decît condus de preferinţa personală?

Pe de altă parte, însăşi natura ipotezelor asupra uniformităţii — în acelaşi timp fizice, geometrice, epistemologice, sugerate de observaţie, dar impuse în cele din urmă de raţiune — se cerea precizată. Deoarece posibilitatea spaţiului infinit nu putea fi exclusă în mod categoric, observaţia astronomică efectivă trebuia să fie considerată drept *locală*, chiar la scara fantastică a domeniului explorat de telescopul Hooker. Şi ce am putea spune despre ipoteza timpului cosmic, atît de contrară, la prima vedere, spiritului teoriei relativităţii? Fie că este luată, sub numele de principiul lui Weyl, ca un postulat autonom, fie că se face din ea o simplă consecinţă a izotropiei spaţiale, adăugată presupunerii că în orice punct există o mişcare medie a materiei, tot se strecoară o axiomă apriorică în sistemul ipotezelor, pentru a limita generalitatea principiului relativităţii. Care este justificarea sa? Este empirică, ontologică, sau transcendentală?

Aceste remarci conduc la cea de-a doua cale pe care s-a angajat cosmologia începînd din 1930. Este vorba de a concepe clar şi de a duce la bun sfîrşit proiectul unei cosmologii cu adevărat axiomatice şi deductive, în principiu independentă de teoria relativităţii, o ştiinţă pentru care conceptul de univers, structura metrică a spaţiu-timp-ului ar fi elaborate nu prin extrapolare, plecînd de la observaţii locale, ci aprioric, prin referire directă la noţiuni şi principii epistemologice. Acest program va da naştere la rîndul său unei noi tentaţii de depăşire a frontierelor ştiinţei, fără a ţine seama de experienţă.

Partea a doua

TEORII COSMOLOGICE

Capitolul IV

IDEI PENTRU O COSMOLOGIE NOUĂ

Proiectul a ceea ce vom conveni să numim ,,cosmologia nouă'' sau, mai limitativ, ,,cosmologie deductivă'', se schiţează, chiar din 1927, în anumite pasaje ale cărţii lui Eddington *The Nature of the Physical World*. El începe să se realizeze în 1932, sub impulsul viguros al lui E.A. Milne şi îşi găseşte pentru prima oară desăvîrşirea în teoria *relativităţii cinematice* a acestui autor şi a principalilor săi colaboratori în această direcţie: G.J. Whitrow şi A.G. Walker. În 1950, în momentul în care opera lui Milne se încheia odată cu viaţa sa, alţi autori mai tineri, H.Bondi şi T. Gold, urmaţi curînd de F. Hoyle, reluau programul său şi construiau, într-un spirit şi pe baza unor principii metodologice destul de asemănătoare cu ale sale, o teorie sensibil diferită. La cincisprezece ani de la fondarea ei, această teorie se menţine încă şi şi-a găsit noi adepţi. Comparativ cu ea, cosmologia relativistă — sprijinită pe teoria relativităţii generalizate, mai viguroasă ca oricînd — este considerată de mulţi savanţi ca singura teorie sigură. Este însă indiscutabil că ea nu a reuşit să depăşească punctul în care ajunseseră fondatorii săi în 1930; tentativele cele mai cunoscute — mai ales cele ale lui Heckmann şi ale colaboratorilor săi — au fost făcute pe baza unor modele neomogene sau anizotrope.

Pe de altă parte, între cosmologia relativistă în prima sa formă (adică cu principiul lui Weyl şi cu ipotezele de izotropie şi uniformitate), relativitatea cinematică a lui Milne şi teoria stării staţionare a lui Bondi şi Gold[1] s-a stabilit un fel de corespondenţă la nivelul cel mai abstract. Aceasta mai ales graţie lucrărilor unor matematicieni, angajaţi sau nu într-o teorie sau alta, care au reuşit să demonstreze că un acelaşi formalism matematic poate să

---

[1] Pentru comoditate, de acum încolo vom desemna prin literele R.G. teoria relativităţii generalizate, prin R.C. teoria relativităţii cinematice şi prin T.S.S. teoria stării staţionare.

exprime toate aceste teorii, diferenţa dintre ele provenind din conţinutul conceptual al simbolurilor şi din mersul raţionamentului. Walker, colaborator al lui Milne, şi Robertson, căruia i se datorează în mare parte punerea în formă matematică definitivă a cosmologiei relativiste, au ajuns în această privinţă la rezultate care concordă perfect, cu toate că metodele şi părerile lor erau mult diferite.

În sfîrşit, în timpul aceleiaşi perioade şi mai ales între 1930 şi 1950, alţi autori — urmînd iarăşi o idee a lui Eddington, după părerea lor prost exploatată de iniţiatorul ei — P.A.M. Dirac şi P. Jordan, au abordat problema cosmologică considerînd ca un fapt fundamental existenţa unor relaţii remarcabile şi deosebit de simple între toate constantele numerice ale fizicii.

Aceste teorii diverse, cu presupunerile şi prelungirile lor epistemologice şi filozofice — dar separat de consecinţele lor cosmogonice, care vor fi examinate ulterior — vor face obiectul acestei a doua părţi a cărţii de faţă.

Cuvîntul cosmologie *deductivă*, de care ne vom servi pentru a caracteriza cel puţin teoriile R.C. şi T.S.S., în prima sa formă, se va lămuri de la sine în cursul expunerii. Este suficient pentru moment să remarcăm că cosmologii primei generaţii, cu toate deosebirile importante care îi despărţeau, erau în orice caz de acord că ecuaţiile teoriei R.G. — completate sau nu cu termenul în Λ, dar avînd sensul fizic atribuit de Einstein — trebuiau să furnizeze baza indispensabilă a edificiului cosmologic. Construirea unei teorii cosmologice, indiferent ce formă tehnică ar fi putut să ia aceasta, rămîne deci în esenţă o operaţie de inducţie şi de extrapolare pornind de la o teorie locală. Noua cosmologie — lăsînd la o parte, desigur, tentativele de reînnoire a cosmologiei relativiste, care nu transformă decît ipotezele suplimentare — tinde dimpotrivă să răstoarne ordinea operaţiilor, ca şi pe cea a valorilor epistemologice : la nivel cosmic, ba chiar la scara locală, ecuaţiile einsteiniene ale cîmpului încetează să mai fie valabile în mod necesar. În schimb, postulatele suplimentare pe care teoria relativităţii le introducea pentru ca problema să fie determinată — şi al căror statut epistemologic rămînea destul de nesigur, aşa cum am încercat să arătăm — devin adevărate axiome; structura metrică a Universului idealizat trebuie să se *deducă* din ele. Dacă acestei structuri cosmice trebuie să i se adauge o teorie locală a gravitaţiei sau a cîmpului electromagnetic, aceasta devine o problemă secundară din punctul de vedere al cosmologiei, cel puţin în sensul că ea trebuie să fie tratată *după* şi nu *înainte* de definirea *substratum*-ului metric. În privinţa acestei scheme metodologice,

există un acord deplin cel puţin între autorii teoriilor R.C. şi T.S.S. şi aceasta justifică suficient, în mare, adjectivul deductiv folosit pentru desemnarea acestor două teorii.

Această cosmologie nouă, lucrul nu poate fi ascuns — în parte datorită dispreţului pe care l-a arătat faţă de metodologia tradiţională a ştiinţei fizice — nu a fost primită cu o bunăvoinţă deosebită în lumea fizicienilor, în care conducătorii mişcării cosmologice apăreau deseori în postura de luptători de gherilă. La sfîrşitul carierei sale, Eddington s-a angajat într-un labirint intelectual în care puţini dintre apropiaţii săi au vrut să-l urmeze. Milne, situîndu-se cu din ce în ce mai multă trufie pe poziţia unui „eretic" faţă de ştiinţa „oficială", a întîmpinat cu atîta dispreţ criticile şi obiecţiile încît a sfîrşit prin a face un fel de deşert în jurul lui, iar după moartea sa cercetările sale nu au fost în nici un fel continuate. Cît despre Gamow şi Hoyle, aceştia sînt astrofizicieni cu mari merite pe care o excepţională disponibilitate spirituală i-a condus spre cosmologie sau cosmogonie — ba chiar şi spre ficţiunea ştiinţifică — tocmai pentru că acestea sînt domenii deschise talentului, propice ideilor originale.

Pe scurt, considerînd personalitatea cîtorva dintre protagoniştii ei, ca şi locul de fapt restrîns pe care îl ocupă în cadrul ştiinţei, am putea fi tentaţi să vedem în noua cosmologie un fenomen marginal, o floare rară şi delicată, dar într-un fel excepţională în mijlocul vegetaţiei stufoase care înfloreşte în periodice, colocvii şi simpozioane. Fără îndoială că aceasta este părerea celor mai mulţi fizicieni.

Totuşi aceasta ar însemna nerecunoaşterea importanţei reale a mişcării cosmologice în ştiinţa contemporană. Mai întîi trebuie să atragă atenţia durata sa. Eddington s-a născut în 1882, Bondi în 1919; primele memorii asupra relativităţii cinematice au apărut de mai bine de treizeci de ani; cartea lui Sciama despre „unitatea Universului", în care se afirmă mai viguros ca oriunde spiritul cosmologiei deductive, a fost publicată în 1959. Treizeci de ani reprezintă în secolul al XX-lea o perioadă lungă pentru o idee sau pentru o metodă, mai ales dacă avem în vedere că cosmologia deductivă se înscrie de fapt într-un curent de idei şi de cercetări mult mai vechi: ea se leagă explicit, prin teoria relativităţii, de ipotezele lui Mach asupra principiului inerţiei, de rezultatele lui Helmholtz şi Lie asupra reprezentării geometrice a spaţiului fizic, de analizele lui Painlevé asupra axiomelor dinamicii. Pe de altă parte, dacă dezbaterea cosmologică nu a reţinut întotdeauna întreaga atenţie a unui număr foarte mare de savanţi, ea a suscitat totuşi, cel puţin în perioada la care ne referim, un mare interes,

datorat în parte perspectivelor diverse deschise de cosmologii noii şcoli. Faptul că un Dirac şi un Gödel şi-au adus contribuţia, chiar dacă numai în mod ocazional, este suficient pentru a dovedi că aceste perspective duc destul de departe.

Se poate obiecta că deşi noua cosmologie este destul de întinsă în timp, ea este mai restrînsă în spaţiu, fiind destul de strict limitată la insulele britanice. Chiar şi în epoca contemporană, însă, localizarea geografică nu exclude pentru o mişcare culturală un sens şi o importanţă universală.

Credem de asemenea că cosmologia deductivă nu trebuie considerată ca o ramură îndepărtată a teoriei relativităţii, ci ca o construcţie autonomă, a cărei importanţă rezidă numai în principiile şi rezultatele proprii, şi al cărei sens filozofic este la urma urmelor atît de bogat încît în această privinţă ea merită o examinare deosebit de atentă.

Originea şi motivarea mişcării cosmologice pot fi înţelese, din punct de vedere istoric, printr-o serie de consideraţii tehnice destul de numeroase şi de precise. Trebuie însă mai întîi să situăm sumar această mişcare într-un context filozofic mai larg.

Filozofia noilor cosmologi

La marea majoritate a partizanilor noii cosmologii se întîlneşte o anumită aversiune faţă de metodologia empiristă şi pozitivistă, care era tradiţională în ştiinţa fizică şi „oficială" mai ales în ţările anglo-saxone. Gaston Bachelard vorbea de o „epistemologie necarteziană" pentru a caracteriza filozofia pe care o discerna în ştiinţa timpului său. De cealaltă parte a Canalului Mînecii, militase însă tot timpul, începînd din secolul al XVII-lea o anumită epistemologie necarteziană, iar dacă ţinem seama de cosmologia iniţiată la Oxford prin 1930, atunci trebuie să vorbim mai curînd de o epistemologie „nemilliană"[1]. În prima treime a secolului al XX-lea răsturnările fizicii au fost de o asemenea anvergură, încît nici unul din conceptele epistemologice, nici unul din preceptele eticii ştiinţifice moştenite din secolele anterioare nu a putut să reziste pe deplin. Cosmologii, despre care vorbim aici, au fost deosebit de sensibili la insuficienţele filozofiilor bazate pe inducţie; ar trebui totuşi să ne ferim să asociem prea strîns noua cosmologie unei epistemologii bine definite. La Milne, Whitrow, Bondi refuzul empirismului este deliberat. Dar asupra acestui punct ca şi asupra altora, gîndirea lui Eddington este mult mai subtilă, iar la Hoyle, ruptura cu empirismul tradiţional este departe de a fi consumată.

[1] Este vorba de filozoful englez J.St.Mill. — *N. T.*

În noua cosmologie, dealtfel ca și în cosmologia relativistă, nu au fost angajate numai valori epistemologice, ci și valori etice și religioase. Accentul pe care i l-au dat unii dintre fondatorii săi o situează în mișcarea generală de reacție contra scientismului, una din trăsăturile marcante ale ideologiei secolului al XX-lea. În ochii multor savanți, progresele științei înseși, nu criticile filozofilor au făcut să apară sărăcia derizorie a anumitor dogme științifice. În ochii noilor cosmologi — cel puțin ai unora dintre ei — viziunea materialistă a Universului era condamnată irevocabil și, în consecință, teologia tradițională era repusă în drepturile sale asupra naturii.

Au meditat oare Eddington și Milne la maxima lui Pascal că dacă o mică parte a științei se îndepărtează de Dumnezeu, o mare parte revine la el? Fără îndoială, ei nu ar fi aprobat-o, deși în această privință Eddington s-a arătat mult mai prudent decît rivalul său.

Totuși această dorință de a asocia noua cosmologie unei credințe religioase, sau unor valori filozofice, de a înțelege ceea ce o deosebește de știința tradițională ca urmare a unei opoziții între două metafizici, această investiție etică nu este comună tuturor autorilor care au contribuit la dezvoltarea sa. Whitrow, filozof mai profund decît Milne, deși dă un sens categoric idealist teoriei R.C., se ferește totuși de orice aluzie la o posibilă confruntare cu preceptele teologice, ba chiar filozofice ale creștinismului. La Bondi, nu se găsește nici cea mai mică aluzie la o metafizică oarecare, nici cea mai mică urmă a vreunui gînd religios ascuns. În ceea ce îl privește pe Hoyle, filozofia sa asupra naturii, mai curînd panteistă, este în mod explicit și deliberat opusă celei a creștinilor, a căror atitudine în fața Universului, mai ales concepția unei supraviețuiri personale, el o critică cu asprime.[1] Cu toate că opera lui Eddington și cea a lui Milne, datorită personalității lor excepționale, au dat un puternic impuls cercetărilor cosmologice în spirit deductiv și le-au asigurat un fel de reputație filozofică, motivele etice și religioase nu au jucat de fapt decît un rol foarte restrîns în aceste cercetări.

Avîntul și succesul formalismului și al metodei axiomatice în logică, în matematică și chiar în fizica teoretică au reprezentat desigur o încurajare pentru încercarea de a aborda aprioric problemele cosmologiei, așa cum o dovedește rolul jucat de algebra „numerelor-E" în teoria finală a lui Eddington și, într-un mod mai convingător, folosirea sistematică de către Whitrow, Walker și

---

[1] F. HOYLE, *La Nature de l'Univers*, trad. Busso și Papy., P.U.F., Paris, 1952, pp. 130—131.

Robertson a teoriei grupurilor continue de transformări pentru definirea cadrului metric al Universului. Într-adevăr, se dovedea că gîndirea formală poate fi creatoare, că deducţia nu este condamnată la sterilitate, că numai o epistemologie foarte îngustă poate reduce conceptul matematic la un simplu reziduu schematic al abstracţiei şi al generalizării. În această privinţă se poate observa un anumit paralelism între dezvoltarea cosmologiei şi cea a fizicii cuantice, în care se afirma, în aceeaşi perioadă, de la Heisenberg la Dirac şi la von Neumann, spiritul axiomatic.

Motivele tehnice ale noii cosmologii

Dacă ne situăm acum pe un plan strict tehnic, motivarea noii cosmologii a fost explicată parţial prin neajunsul cel mai evident al cosmologiei relativiste: teoria relativităţii generalizate, teorie diferenţială şi locală, extrem de suplă, lasă nedeterminată soluţia problemei cosmologice, chiar şi atunci cînd se adaugă ecuaţiilor sale ipoteze de uniformitate, străine în orice caz de esenţa sa, deşi lor li se datorează în parte fizionomia universurilor relativiste. Punctul de vedere al adepţilor cosmologiei deductive ar putea fi exprimat foarte schematic, dar destul de exact, spunînd că R.G. nu este nici suficientă nici necesară pentru obţinerea unei soluţii satisfăcătoare a problemei cosmologice. Ea nu este suficientă datorită acestei nedeterminări, pe care o amintim încă odată; chiar dacă din motive indiscutabile un model relativist ar putea fi ales, ar rămîne faptul că principiul lui Mach, pe care Einstein îl considerase de la început şi în mod firesc ca fiind esenţial asociat soluţiei problemei cosmologice, nu poate fi satisfăcut în cosmologia relativistă. Dar R.G. nu este nici necesară cosmologiei; este ceea ce va demonstra, chiar de la începutul deceniului al patrulea, primul fondator al cosmologiei deductive, E. A. Milne.

În 1917, Einstein pusese deci problema cosmologică, fără a avea, contrar a ceea ce spera, mijloacele necesare pentru a o rezolva; dar motivele profunde pe care le avea pentru a pune această problemă, pe care le-am analizat într-un capitol precedent, rămîneau în continuare valabile. Toţi cei cărora încercarea sa şi, alături de ea, descoperirile făcute la Mount Wilson le stîrniseră entuziasmul, rămîneau nesatisfăcuţi.

Cu atît mai mult cu cît problema generală şi abstractă a cadrului metric al realităţii fizice lua pentru astronomie un aspect cu totul practic şi concret: într-adevăr, explorarea metodică a Universului îndepărtat, confruntarea rezultatelor teoretice ale

cosmologiei relativiste cu datele, din ce în ce mai abundente, ale observației extragalactice scoteau în evidență din ce în ce mai clar faptul că nu există decît o omonimie periculos de vagă între operația de „măsurare" a distanței unui sistem cosmic și „măsurarea" unei lungimi într-un laborator construit pe suprafața Pămîntului. Dealtfel, este adevărat că în astronomie nici o *distanță* nu este obiectul unei măsurători directe. Atunci cînd este vorba de Lună, sau chiar de stelele cele mai apropiate, chiar dacă reconstituirea celor trei dimensiuni „reale" pune probleme practice extrem de delicate de îndată ce se cere un anumit grad de precizie, determinarea distanțelor nu ridică nici o problemă teoretică. Distanța pînă la Vega nu se citește pe un telemetru atașat telescopului, dar se știe cu siguranță de ce mărime este vorba și cum poate fi introdusă aceasta în formule. În schimb, dacă este vorba de un roi de galaxii a cărui distanță nu ne putem aștepta să fie inferioară mai multor zeci de milioane de ani-lumină, nu numai că pentru a o măsura practic trebuie să se introducă o serie de ipoteze de lucru, fiecare comportînd un anumit risc, dar, mai mult, trebuie să ne înțelegem asupra a ceea ce numim distanță, căci cuvîntul nu mai are un sens imediat evident. Intervin proprietățile fizice ale luminii precum și proprietățile globale, geometrice, cinematice și fizice ale sistemului de galaxii, chiar cele ale galaxiilor individuale și ale stelelor. Etalonarea distanțelor se bazează pe cea a luminozităților observate, care depind simultan de poziția spațio-temporală relativă a sistemului observat și a observatorului, de proprietățile primului și de legile sale de evoluție și, poate, de densitatea mediului care se interpune. Căci între plecarea semnalului luminos și sosirea sa în aparatul observatorului apare o întîrziere și, pe măsură ce se observă obiecte mai îndepărtate, această întîrziere crește pînă la egalarea duratei probabile a marilor transformări astrofizice. Geometria sistemului cosmic, cinematica sa, evoluția sa fizică, toate acestea sînt deci implicate în orice măsurătoare asupra Universului îndepărtat, a cărui cunoaștere empirică depinde de fapt de alegerea unei teorii cosmologice.

La sfîrșitul deceniului al treilea, cînd Hubble și Humason au anunțat găsirea unor viteze de recesiune de mai multe mii de kilometri pe secundă, chiar și cei mai puri descendenți ai „fiilor Pămîntului", despre care se vorbește în *Sofistul*, au fost obligați să recunoască necesitatea unei clarificări teoretice. Dar, în timp ce Tolman, de exemplu, se străduia să definească în cadrul cosmologiei relativiste raportul dintre coordonatele metricii riemanniene ale spațiu-timp-ului și mărimile măsurate de astronomi, spiritele care deja se îndoiau de utilitatea cosmologică a R.G. erau înclinate

mai curînd să considere că problema reţelei metrice a astronomiei trebuia să fie pusă direct şi nu prin referirea la o teorie fizică. Aceasta moştenise de la ştiinţa clasică postulatul că orice măsurătoare poate fi redusă, fie chiar indirect, la citirea unei lungimi pe o riglă rigidă şi la citirea unui interval de timp pe un ceas.

Şi alte motive tehnice sugerau să se încerce o remodelare a principiilor cosmologiei. Cel mai important din punct de vedere istoric şi poate chiar cel esenţial, era dificultatea legată de scara timpului cosmic. Am întîlnit-o mai înainte şi am indicat rolul important pe care ea l-a jucat în elaborarea cosmologiei relativiste. Etalonarea distanţelor extragalactice fusese făcută de Hubble — primul mare arpentor al Universului — în aşa fel încît expansiunea galaxiilor apărea extrem de rapidă, mult prea rapidă pentru a fi în acord cu ceea ce se putea şti despre durata probabilă a marilor transformări astrofizice. Într-adevăr, presupunînd că expansiunea este liniară, cu alte cuvinte că toate galaxiile îşi conservă indefinit vitezele relative, măsurătorile lui Hubble conduc la concluzia că toate galaxiile se găseau în contact acum 1,8 miliarde de ani, durată în cadrul căreia este imposibil să se producă formarea stelelor şi a planetelor; după cum am spus, această valoare a constantei de recesiune exclude numeroase modele relativiste, mai ales modelele celei de-a doua cosmologii a lui Einstein, cu constanta cosmologică nulă, şi nu lasă verosimil decît modelul lui Lemaître-Eddington şi al doilea model al lui Lemaître.

Or, cu toate rezervele care existau în ceea ce priveşte exactitatea măsurătorilor lui Hubble (Einstein le exprima foarte net), autoritatea maestrului de la Mount Wilson era atît de mare încît măsurătorile sale nu au fost contestate în mod serios înainte de 1952, dată la care informaţiile obţinute cu telescopul Hale de cinci metri i-au permis lui Walter Baade să propună o primă revizuire sistematică a scării distanţelor cosmice. Între timp, adică între 1930 şi 1952, fuseseră propuse cele două cosmologii deductive principale, R.C. şi T.S.S. Nici una nici cealaltă nu îşi propuneau ca scop direct depăşirea dificultăţii scării timpului; totuşi, fapt este că amîndouă i-au făcut faţă, fiecare în felul ei, aşa cum vom vedea.

În sfîrşit, constatarea unor coincidenţe numerice în combinaţiile fizic adimensionale ale constantelor empirice oferea un ultim motiv pentru a încerca reînnoirea teoriei cosmologice. Într-adevăr, existenţa acestor coincidenţe imprevizibile şi improbabile între numere care interesează pe de o parte Universul, iar pe de altă, structurile microfizice, sugera ideea că o teorie fizică destul de

profundă ar trebui să le explice. Această idee lansată de Eddington reține atenția unora dintre maeștrii fizicii cuantice, îndeosebi a lui Dirac și Schrödinger. Se putea într-adevăr pune întrebarea dacă dificultățile de principiu întîmpinate simultan și independent de știința elementarului și de cea a întregului, de microfizică și de cosmologie, nu aveau aceeași origine și nu urmau să fie rezolvate împreună. Eddington și-a luat această sarcină; cu toate că el a fost departe de a o îndeplini într-un mod care să-i mulțumească pe toți, eșecul său nu l-a descurajat nici pe Dirac nici pe Jordan și rămîne adevărat că joncțiunea dintre microfizică și cosmologie este ambiția ultimă a tuturor cosmologilor pentru care coincidențele numerice sînt încă o enigmă fundamentală.

Între autorii diferitelor încercări de a pune în practică proiectul unei cosmologii deductive, acordul este de fapt mai larg și mai esențial în ceea ce privește principiile decît în ceea ce privește consecințele care rezultă din acestea. Complete sau fragmentare, aceste teorii se leagă unele de altele într-un anumit sens, fiecare străduindu-se să realizeze mai bine intențiile teoriei predecesoare decît a făcut-o ea însăși; astfel se situează, pînă la un anumit punct, T.S.S. în raport cu R.C. Este deci important, din punct de vedere filozofic și istoric, să se expliciteze cît mai complet posibil conceptele și postulatele a căror asamblare formează cel mai mare divizor comun, cu rezerva de a face să reiasă apoi clar nu numai diferențele tehnice, dar și cele filozofice.

Fundamentele cosmologiei deductive: fizica și cosmologia

Prima regulă pe care și-o impun cosmologii din noua școală este deci de a pune la baza științei lor principii epistemologice și principii neempiriste. Pentru ei inducția care pornește de la experiența locală nu este adevărata sursă a cunoașterii cosmologice care trebuie să se stabilească în esență aprioric; în esență, adică în tot ceea ce privește structura metrică a realității fizice.

Aceasta implică mai ales o concepție asupra relațiilor dintre fizică și cosmologie destul de diferită de cea care îi este asociată în mod natural epistemologiei inductive: în loc să fie termenul ultim al unei extrapolări, cosmologia devine știință primară din punct de vedere logic, o știință căreia fizica trebuie să-i împrumute propriile sale principii. Aceasta este teza pe care Milne a încercat să o pună în practică deducînd dinamica cosmologiei;

aceasta este teza pe care Bondi o oferă unei „şcoli de gîndire" care este evident a sa [1].

La originea teoriei cosmologice trebuie deci să se pună un fel de deducţie transcendentală (în sensul lui Kant) a metricii universale, căci definirea acestei structuri trebuie să rezulte din răspunsul la întrebarea : „Cum trebuie să fie Universul pentru ca el să poată fi obiectul unei cunoaşteri metrice coerente, în principiu comunicabilă de la orice observator la oricare altul, oricare ar fi poziţia lor relativă în spaţiu şi în timp?". Am spus intenţionat deducţie „transcendentală" şi nu deducţie formală căci, ceea ce este în discuţie, nu este un sistem simbolic, ci adevărata idee de univers şi definirea acestui adevăr. Niciodată cosmologii acestei şcoli nu au considerat confruntarea construcţiilor lor teoretice cu observaţia astronomică sau cu experienţa fizică drept lipsită de importanţă şi fără obiect, cu toate că sensul acestei confruntări ar fi, cel puţin pentru Milne, sensibil diferit de cel considerat de obicei.

În plus, cu toate că ei folosesc un aparat matematic foarte bine pus la punct, a considera aceste teorii ca teorii matematice ar fi ceva contrar naturii lor. În cele optsprezece pagini istorice ale memoriului în care este expusă T.S.S. [2] şi în care este exprimată o gîndire excepţional de densă, autorii numerotează cinci ecuaţii — dintre care ultimele două sînt formule clasice de astronomie — şi numai atît. În memoriul lui Gold asupra ireversibilităţii termodinamice şi expansiunii Universului[3], memoriu despre care vom mai vorbi, nu există decît o ecuaţie numerotată. Cel puţin, la aceşti autori este evidentă intenţia de a situa enunţurile fundamentale într-o regiune logică plasată oarecum în afara aserţiunilor care se pot exprima şi dezvolta cu ajutorul formalismului matematic. Este în schimb adevărat că aparatul matematic al teoriei R.C. este impresionant şi că Bondi şi Gold puteau să se sprijine pe opera predecesorilor lor, în special Milne, Whitrow, Robertson şi Walker, care deplasaseră sensibil, făcuseră să „avanseze" într-o oarecare măsură, în lanţul raţionamentelor cosmologice, punctul în care formalismul matematic putea să intre în

---

[1] „Din acest punct de vedere, cosmologia este cea mai fundamentală dintre ştiinţele fizice, adevăratul punct de plecare al oricărei examinări ştiinţifice" (H. BONDI, *Cosmology*, Cambridge, 1952; ed. a II-a, 1960, p. 5). Dacă această cale a fost neglijată pînă acum, aceasta s-a întîmplat, după Bondi, din cauza aversiunii pe care o aveau savanţii secolului al XIX-lea pentru filozofie.

[2] H. BONDI, T. GOLD, *The Steady State Theory of the Expanding Universe* Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 108, 3, 1948, pp. 252—270.

[3] T. GOLD, *The Arrow of Time* în *La Structure et l'Evolution de l'Univers*, C.R. du XI[e] Conseil de Physique Solvay, Stoops, Bruxelles, 1958, pp. 81—91.

joc, folosind mai ales teoria grupurilor pentru a exprima condițiile generale de regularitate și de covarianță cerute aprioric, conform cosmologiei deductive, unui model de univers. Dar, acordînd deplină încredere, pe plan matematic, înaintașilor lor, autorii T.S.S. înțelegeau să demonstreze tocmai faptul că adevărata originalitate a teoriei lor se situa în afara acestui domeniu. Epistemologia noilor cosmologi este deci „transcendentală", în sensul că pentru ei este vorba de determinarea conceptului de univers în funcție de exigențele raționale și metrice ale cunoașterii fizice și de a verifica pînă în ce punct observația autorizează rezultatele care pot fi obținute aprioric din acest concept.

Pe de altă parte, pentru acești cosmologi modul de tratare a conceptului de univers reprezintă un prilej de stabilire a unei diferențe de principiu între cosmologie și celelalte științe fizice. După Kant, cuvîntul Univers a căpătat un dublu sens: el poate fi înțeles în sensul realist și naiv al lumii naturale luată în totalitatea sa, dar și într-un sens logic și structural; Universul este în acest caz ansamblul formelor și legilor care, în reprezentarea științifică a naturii, ordonează și determină cursul fenomenelor observabile. Fizica tradițională s-a obișnuit să distingă, în studiul unor ansambluri fizice, legile de structură, care reglează în mod necesar evoluția, de datele inițiale, contingente, care dau acestei evoluții fizionomia sa particulară și pe care numai observația o poate face cunoscută în fiecare caz în parte. Ea are deci tendința să trateze Universul (în primul sens) ca pe un sistem condus de legi identice cu cele care permit înțelegerea fenomenelor locale, dar al căror aspect și evoluție nu pot fi explicate și prezise decît introducînd în discuție cunoașterea empirică și nesigură a proprietăților reale pe care le poate avea sistemul cosmic.

Dar tocmai această idee este contestată de noua cosmologie; această contestare este unul din motivele apariției teoriei lui Milne și stă în mod net și deliberat la baza T.S.S. Datorită unicității Universului, spun Bondi și Gold, este imposibil să se discearnă printre proprietățile sale cele „accidentale" de cele „inerente". Căci, atunci cînd avem de-a face cu un obiect unic, o comparare care să permită această deosebire nu mai este posibilă. „Unicitatea Universului real face imposibil să se distingă pe baze pur observaționale trăsăturile sale generale de trăsăturile sale particulare, chiar dacă această distincție ar putea fi susținută logic [1]", scrie Bondi, adăugînd că în cosmologie cu greu poate fi făcută o distincție între mișcările reale și legile de mișcare [2]. Altfel spus,

---

[1] *Cosmology, op. cit.*, p. 10.
[2] *Ibid.*, p. 124.

în sistemul de gîndire al cosmologiei deductive, distincţia dintre cele două sensuri ale cuvîntului Univers nu este valabilă. Faptul că „conţinutul real al Universului nu are semnificaţie decît în aceeaşi măsură ca şi legile care îl guvernează [1]" reprezintă o „lege" a cosmologiei chiar şi pentru Sciama. Evident, pe această „lege" se baza Milne atunci cînd încerca, în condiţii pe care le vom preciza, să deducă „legile de mişcare" ale particulei libere, apoi legea gravitaţiei, apoi pe aceea a cîmpului electromagnetic, pornind de la definiţia *substratum*-ului cosmic [2].

Opoziţia dintre noii cosmologi şi cei pe care ataşamentul lor faţă de o metodologie mai tradiţională îi împiedica să se abată de la teoria R.G. apare net atunci cînd este vorba de a aprecia valoarea respectivă a legilor de origine experimentală şi a ipotezelor cosmologice apriorice.

T.S.S. implică o modificare a principiului de conservare a materiei-energiei, modificare echivalînd cu o generare continuă de materie *ex nihilo*. Dar această generare ipotetică este atît de slabă cantitativ, încît nu este posibil să se discearnă pe cale experimentală directă consecinţele principiului tradiţional de cele ale principiului modificat. Autorii şi partizanii T.S.S. consideră că această modificare este permisă, pentru că ei nu se simt obligaţi să atribuie unui enunţ de origine empirică (principiul tradiţional de conservare) o încredere care să se întindă dincolo de limitele unei verificări experimentale dacă nu efective, cel puţin imaginabile. În ochii lor, extrapolarea dincolo de aceste limite nu poate avea mai multă justificare decît folosirea unui principiu aprioric — în speţă „principiul cosmologic perfect", al cărui conţinut va fi precizat în continuare — pe care observaţia nu îl contrazice şi a cărui utilitate şi eficacitate pot fi solid stabilite în orice alt mod.

Dimpotrivă, cosmologii fideli teoriei R.G. consideră că valoarea principiului tradiţional de conservare trebuie presupusă absolută atîta timp cît această presupunere nu va fi infirmată de date experimentale pozitive şi precise. O. Klein, de exemplu, fără a contesta valoarea abstractă a principiului cosmologic perfect, găseşte ilegitimă folosirea lui atunci cînd implică modificări

---

[1] D.W. SCIAMA, *Les Trois Lois de la Cosmologie*, trad. L. Bouche, Annales de l'Institut Henri Poincaré, XVII, 1961, p. 21.

[2] „... Cercetările mele au arătat că conţinutul Universului determină legile naturii care trebuie îndeplinite" (E. A. MILNE, *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, Oxford, 1952, p. 71).

speciale ale legilor experimentale [1]. O poziţie analoagă iau Schücking şi Heckmann, considerînd ca o practică sănătoasă abţinerea de la speculaţii în sensul lui Bondi, Gold şi Hoyle, atîta timp cît nu vor exista probe empirice solide ale generării continue[2].

Principiul cosmologic

Exigenţele epistemologice pe care noii cosmologi consideră că trebuie să le satisfacă aprioric orice model de univers îşi găsesc cea mai simplă şi cea mai netă expresie tehnică în enunţul pe care Milne l-a denumit „principiul cosmologic" şi, cu atît mai mult, în acela, încă mai riguros, pe care autorii T.S.S. îl numesc „principiul cosmologic perfect". Mulţumindu-ne pentru moment cu formularea cea mai simplă şi mai concisă a acestor principii, sensul principiului cosmologic este acela că la o scară suficient de mare, Universul prezintă aceeaşi înfăţişare oricărui observator, indiferent de poziţia sa ; la aceasta, principiul cosmologic perfect adaugă că Universul prezintă o astfel de înfăţişare *în orice moment*. La drept vorbind, acest principiu nu este absent din construcţiile cosmologiei relativiste. Dealtfel Milne foloseşte, în prima sa lucrare, termenul de „principiul cosmologic al lui Einstein" ; şi într-adevăr, aşa cum am văzut, Einstein şi toţi cei care l-au urmat determinau într-o anumită măsură soluţiile cosmologice ale ecuaţiilor gravitaţiei prin adăugarea unor ipoteze de omogeneitate şi de uniformitate. Milne transformă însă complet sensul şi semnificaţia principiului. Într-adevăr, ceea ce postulează atît el cît şi, după el, succesorii şcolii deductive, nu este faptul că substanţa Universului are o anumită uniformitate, ci că toate *înfăţişările* Universului ar fi identificabile.

Această schimbare a punctului de vedere este practicată în mod foarte explicit şi deliberat de către Milne în capitolul III al primei sale lucrări de sinteză[3] . În forma pe care i-o dă cosmologia relativistă, principiul cosmologic revine la a stabili că materia este distribuită omogen în spaţiu, presupunînd, în plus, că densităţile se pot egaliza în aşa fel încît conţinutul Universului să poată

---

[1] O. KLEIN, *Some Cosmological Considerations In Connexion With the Problem of the Origin of Elements*, în *Les Processus nucléaires dans les astres*, Mémoires de la Société Royale des Sciences de Liège, XIV, 1954, p. 43.

[2] E. SCHÜCKING, O. HECKMANN, *World Models*, în *La Structure et l'Evolution de l'Univers*, *op. cit.*, p. 150.

[3] E.A. MILNE, *Relativity, Gravitation and World-Structure*, Oxford, 1935, pp. 60—71.

fi asimilat cu un fluid continuu. Milne nu pune la îndoială utilitatea acestei ipoteze, dar remarcă că, dacă Universul nu mai este static, definirea omogeneității devine delicată: trebuie în acest caz să se convină asupra definirii *epocii* în care densitățile locale trebuie să fie considerate egale în două puncte diferite. Cosmologia relativistă aduce acestei probleme o soluție geometrică: definirea unei metrici riemanniene, alegerea geodezicelor lui Weyl și a „timpului cosmic" asociat acestei familii de geodezice. În ceea ce îl privește, Milne preferă o soluție inedită în legătură cu conceptul său de „echivalență[1]", care transformă sensul principiului cosmologic; în cauză, nu mai este *conținutul* Universului, ci *înfățișările* sale: fiecare observator trebuie să descrie Universul în propriul său sistem de măsură; această descriere trebuie să coincidă cu cea făcută de oricare altul, în propriul său sistem de măsură.

Această concepție despre Univers contrastează deosebit de mult cu realismul — chiar cu materialismul — care se afirma, în 1917, în fundalul gîndirii cosmologice a lui Einstein. Pe de o parte, ea este proprie lui Milne, al cărui idealism filozofic îl exprimă. Dar ea este în același timp atît de strîns legată de ideile esențiale ale cosmologiei deductive, încît pentru o astfel de cosmologie pare dificilă o adevărată revenire completă de la logica aparenței la cea a realității. Poziția autorilor T.S.S. o dovedește destul de bine: ei sînt departe de a împărtăși toate vederile filozofice ale lui Milne și, în anumite privințe, cercetarea lor marchează o reîntoarcere la problematica mai realistă a lui Einstein din *Kosmologische Betrachtungen*. Totuși ei formulează principiul cosmologic perfect sub formă de aparențe[2]. Aceasta nu reprezintă din partea lor un simplu artificiu de stil, căci gîndirea lor se înscrie destul de natural în logica aparenței: atunci cînd li se reproșează că renunță la principiul de conservare al masei-energiei, ei răspund uneori că aceasta depinde de modul de definire a conservării. Căci, dacă în teoria lor materia-energia nu se conservă *în sine*, ea se conservă totuși în sensul că există întotdeauna o aceeași cantitate în cîmpul de observație accesibil oricărui observator[3].

---

[1] În legătură cu definirea „echivalenței" în teoria lui Milne, vezi mai departe, p. 142.

[2] H. BONDI, T. GOLD, *The Steady State...*, *mem. cit.*, p. 254: „...La scară mare Universul este omogen și staționar *în înfățișările sale* la fel ca și în legile sale."
„...Înlăturînd neregularitățile locale, Universul prezintă *același aspect* în orice loc și în orice timp" (H. BONDI, *Cosmology*, p. 12). În aceste două citate sublinierile ne aparțin.

[3] Dealtfel chiar în acest mod previn ei obiecția, în memoriul lor inițial, *The Steady State...*, *mem. cit.*, § § 2,5. Vezi Anexa, VI, p. 464.

Am fi deci tentaţi să vorbim de un *idealism* al noii cosmologii. Desigur că cuvîntul se potriveşte pînă la un anumit punct teoriei lui Milne, dar trebuie să subliniem mai întîi, că dacă teoria R.C. este idealistă, acest idealism diferă într-un punct esenţial de filozofiile cele mai celebre astfel calificate, mai ales de aceea a lui Kant. Într-adevăr, Milne nu tratează lumea după aparenţele ei pentru un *ego*, ci după aparenţele ei pentru mai mulţi *ego* fiecare reprezentînd, unul pentru celălalt, obiect observat şi subiect căruia i se adresează semnale. După Milne, adevăratul sens al principiului relativităţii este că el oferă posibilitatea unei comunicări coerente între doi observatori în mişcare relativă şi situaţi la distanţă în spaţiu ; filozofia relativităţii se găseşte deci la polul opus solipsismului [1], afirmă el în mod expres. Contribuţia cea mai originală a lui Milne, nu numai în cosmologie, ci şi în filozofie, este deci de a fi dat un fel de model matematic al acestei intersubiectivităţi neempirice, transcendentale, pe care filozofia modernă a încercat de atîtea ori şi în atîtea feluri să o descrie.

Pe de altă parte, dacă enunţarea cea mai directă a principiului cosmologic conferă în mod inevitabil un accent idealist noii cosmologii, aceasta are şi un sens realist, în măsura în care acordă o anumită preponderenţă ontologică totalităţii cosmice asupra fenomenelor locale. Acest sens realist nu este în întregime absent din teoria R.C., pentru că Milne deduce în cosmologia sa, o dinamică şi nişte legi de determinare a forţei, ceea ce înseamnă că acţiunea întregului asupra părţilor sale domină interacţiunea părţilor ; dealtfel, lumea a fost creată, iar prin creaţie, Dumnezeu i-a comunicat acesteia ceva nu numai din gîndirea, ci şi din fiinţa sa.

Dar motivul realist al noii cosmologii se afirmă cel mai net în T.S.S. şi în diferitele sale continuări. Bondi şi Gold atribuie principiului lui Mach o importanţă de prim ordin şi reiau într-o oarecare măsură problema inerţiei din punctul în care o lăsase Einstein în 1917 : inerţia nu poate fi o proprietate intrinsecă a corpului de probă local ; faptul că rotaţia indicată de pendulul lui Foucault este identică cu cea a stelelor nu poate fi o coincidenţă inexplicabilă, ci manifestarea empirică a unei relaţii definite între Pămînt şi ansamblul unor obiecte îndepărtate din Univers. La succesorii lui Bondi şi Gold, adică la Hoyle ca şi la Sciama, tema realistă, chiar materialistă, capătă o importanţă şi mai mare [2].

---

[1] „Relativitatea şi solipsismul sînt incompatibile ; relativitatea este negarea completă a solipsismului" (*Relativity, Gravitation...*, *op. cit.*, § 6, p. 16).

[2] Vezi mai departe, pp. 228—233.

Cosmologia newtoniană: un manifest al noii şcoli.

Istoric vorbind, prima intervenţie caracteristică a noii cosmologii este fără îndoială reabilitarea, în 1934, a cosmologiei newtoniene, de către Milne şi McCrea. Demonstrînd, la început pe un caz particular, echivalenţa exactă dintre un model newtonian de univers şi un model relativist, Milne scotea în evidenţă într-un mod destul de izbitor faptul că două teorii locale diferite erau compatibile cu aceeaşi definire a structurii cosmice şi că, în consecinţă, cosmologia modernă, în ciuda originii sale, nu trebuie considerată ca o simplă prelungire a R.G.

Problema cosmologiei newtoniene se punea de fapt de mult timp: incapacitatea teoriei lui Newton de a sprijini extrapolarea cosmologică era bine cunoscută încă dinainte de revoluţia relativistă şi ea păruse cu atît mai surprinzătoare cu cît teoria era mai puţin contestată la acea dată. Einstein remarcase în 1917 [1], că o extrapolare cosmică pornind de la R.G. se lovea de o dificultate analoagă şi că o aceeaşi modificare formală, adusă pe de o parte ecuaţiei lui Poisson, pe de alta ecuaţiilor lui Einstein, înlătura dificultatea şi într-un caz şi în celălalt. În teoria newtoniană, această modificare fusese deja propusă de către Seeliger şi Neumann la sfîrşitul secolului al XIX-lea şi se poate spune că în cosmologie, Einstein, fidel metodei sale analogice, aplicase propriilor sale ecuaţii un procedeu împrumutat de la predecesorii săi newtonieni.

Pe de altă parte, Charlier demonstrase în 1908 şi, într-un mod mai exact şi mai detaliat în 1922, că paradoxul Universului infinit, care apare în cosmologia newtoniană şi, simultan, paradoxul lui Olbers puteau fi eliminate, fără modificarea legii lui Newton, presupunînd că Universul este format din suprapunerea unui număr infinit de sisteme, un sistem de ordinul n avînd drept elemente sisteme de ordinul $n-1$ (stele, galaxii, grupări de galaxii, grupări de grupări...). Paradoxul gravitaţional este evitat dacă raportul dimensiunilor a două sisteme succesive şi numărul de elemente conţinute în cel mai mare dintre ele verifică o anumită inegalitate; *aceeaşi inegalitate* înlătură şi paradoxul lui Olbers [2]. Dar identifica-

---

[1] Vezi mai sus, pp. 32 ş.u.

[2] *Wie eine unendliche Welt..., mem. cit.*, Arkiv för Mathematik Astronomi och Fysik, 4, 24, 1908. *How an Infinite World May Be Built Up, ibid.*, 16, 22, 1922.
Dacă sistemele sînt sferice, R_i, este raza sistemului de ordinul i, iar N_i este numărul de sisteme de ordinul $i-1$ pe care le conţine, relaţia lui Charlier este: $\frac{R_i}{R_{i-1}} > \sqrt{N_i}$.
În privinţa paradoxului lui Olbers, vezi Anexa, p. 493.

rea Universului real cu un model al lui Charlier ridica și ridică încă două obiecții : *a*. Observația nu dă nici o indicație sigură în privința existenței unei structuri ierarhizate. *b*. Modelul este static și nu permite explicarea deplasării spre roșu. Charlier însuși lua încă din 1922 această a doua obiecție foarte în serios.

Totuși, în 1934 toate acestea păreau de mult uitate, mai ales de către însuși Einstein. Succesele și dezvoltarea teoriei relativității, descoperirea expansiunii cosmice, atît de contrară în aparență concepției newtoniene asupra mișcării, păreau să facă deosebit de inactuală problema posibilității existenței unui Univers newtonian. Totuși, acesta este momentul pe care l-a ales Milne, care tocmai își edifica propria teorie, pentru a relua din punctul în care o lăsase Einstein analogia dintre cosmologia newtoniană și cosmologia relativistă. Punîndu-și tot talentul în joc pentru a cîștiga ceea ce părea să fie o prinsoare, el demonstrează că se poate concepe fără nici o contradicție un Univers newtonian în expansiune. Mai mult, el dovedește că ceea ce făcea contradictorie cosmologia newtoniană nu era faptul că era newtoniană, ci faptul că era statică... În sfîrșit, el scoate în evidență echivalența riguroasă, pînă la forma ecuațiilor, dintre descrierea newtoniană și descrierea relativistă a unei aceleiași structuri cosmice.

Pentru această demonstrație, Milne alesese Universul cel mai actual, ultimul apărut dintre universurile relativiste, de asemenea cel mai simplu și, dacă se poate spune așa, cel mai elegant — modelul lui Einstein-de Sitter care îi pusese de acord în 1932 pe cei doi fondatori ai cosmologiei moderne[1]. În acest model, fuseseră aplicate ecuațiile cîmpului cu $\Lambda = 0$, curbura spațiului era nulă, expansiunea începuse într-o stare singulară a Universului, la o distanță în trecut egală cu două treimi din inversul constantei lui Hubble (1,2 miliarde de ani după estimările din vremea aceea și 9 miliarde după estimările actuale). În acest model expansiunea era indefinită și se încetinea indefinit.

Pentru a regăsi în teoria newtoniană acest model de univers, Milne raționează astfel[2] : spațiul este euclidian și toți observatorii măsoară același timp ; Universul fizic este identificabil cu un roi omogen de particule, a căror mișcare este astfel încît traiectoriile lor nu se intersectează niciodată. Pentru orice observator mișcarea este izotropă. Din punct de vedere dinamic, particulele exercită una asupra alteia o forță de atracție în conformitate cu legea lui Newton. Particulele se mișcă astfel încît, în raport cu

---

[1] Vezi mai sus, p. 81 și Anexa, VI, C, p. 466.

[2] E. A. MILNE, *A Newtonian Expanding Univers*, Quarterly J. of Math. Oxford, 5, 1934, pp. 64—72.

orice sistem de referință, în repaus în raport cu una oarecare dintre ele, energia cinetică a oricărei particule echilibrează atracția la care ea este supusă.

Mai precis, considerînd un observator arbitrar O ca fiind fix, o particulă pe care acest observator o vede la distanța r este animată de o viteză radială a cărei mărime este parabolică, cu alte cuvinte care-i permite să scape exact de sub atracția masei sferice centrate în jurul lui O și de rază r. Cînd r variază, masa sferei rămîne constantă astfel că viteza particulei variază, rămînînd parabolică.

Mișcarea sistemului este deci în întregime definită de formula cea mai simplă și cea mai clasică, cea care, odată aleasă arbitrar o origine în repaus, egalează energia cinetică a oricărei particule a sistemului cu energia sa potențială. Structura cosmică este complet determinată adăugînd ecuația hidrodinamică de continuitate (datînd de la 1750, subliniază Milne cu o evidentă malițiozitate). Acest Univers admite principiul de relativitate newtonian și principiul cosmologic. Cinematica sa este în conformitate cu legea lui Hubble : în raport cu un observator oarecare, viteza de expansiune este proporțională cu distanța.

Introducînd o funcție universală $R(t)$ legată într-un mod foarte simplu de poziția oricărei particule în raport cu originea arbitrară, Milne arată că modelul său newtonian corespunde exact modelului relativist al lui Einstein-de Sitter : funcția $R(t)$ verifică ecuații identice cu ecuațiile lui Friedman aplicate acestei metrici ; invers, pornind de la metrica relativistă, se regăsesc ecuațiile newtoniene. Demonstrația, pe acest caz particular, era prea convingătoare pentru ca Milne să nu fi fost tentat să o generalizeze căutînd echivalentul newtonian al tuturor modelelor relativiste conforme cu principiul cosmologic, a căror enumerare fusese încheiată cu cîțiva ani înainte. Or, pentru majoritatea acestor modele de univers, spațiul nu este euclidian ; problema care se punea era deci de a găsi analogul newtonian al curburii spațiului. Milne și McCrea au atacat simultan această problemă și au ajuns în mod independent la rezultate perfect concordante, pe care le-au publicat împreună [1].

Așa cum prevăzuse Einstein, adăugarea în ecuația newtoniană a gravitației a unui termen proporțional cu distanța (coeficientul de proporționalitate fiind Λ) produce din punct de vedere cos-

---

[1] H. W. McCREA, E. A. MILNE, *Newtonian Universes and the Curvature of Space'* Quart. J. of Math., Oxford, 5, 1934, pp. 73–80. Despre cosmologia newtoniană, vezi Anexa, VIII.

mologic aceleași efecte ca adăugarea termenului analog în ecuațiile relativiste: din punct de vedere fizic, acesta este echivalentul unei „repulsii cosmice", care, la distanțe foarte mari, depășește atracția.

În cosmologia newtoniană, echivalentul curburii spațiale este energia mecanică a particulelor în raport cu originea care, în conformitate cu principiul cosmologic, este totdeauna arbitrară. În cazul modelului Einstein-de Sitter, curbura este nulă — adică spațiul este euclidian — energia totală a sistemului este de asemenea nulă, în orice sistem de referință. Ceea ce în cosmologia relativistă se numește „curbură a spațiului", în cosmologia newtoniană se numește deci „energie". Modelele relativiste închise sînt în teoria newtoniană sisteme în care particulele au viteze prea mici pentru a putea scăpa din sistem; în modelele hiperbolice, viteza particulelor este mai mare decît viteza parabolică. Lista universurilor newtoniene este în cele din urmă identică cu lista modelelor relativiste — cu excepția totuși a modelului lui de Sitter, care nu poate avea analog newtonian, pentru că este vid.

Ne putem desigur îndoi de importanța intrinsecă a demonstrației lui Milne și McCrea. Evident ea nu aducea nimic nou în discuția asupra valorii fizice a teoriei newtoniene față de teoria R.G.: nu din motive cosmologice dorise Einstein să o construiască pe cea de-a doua, iar echivalența sub acest raport a celor două teorii nu schimba nici unul din motivele teoretice sau experimentale care ar exista pentru a-l urma pe Einstein. În ceea ce privește cosmologia, ea nu avansa astfel prea mult; interpretarea newtoniană permitea cel mult să se regăsească rezultatele relativiste fără a trece dincolo de ele, în special în ceea ce privește determinarea modelului cel mai bine adaptat pentru reprezentarea lumii reale. Pe de altă parte, analogia, oricît de spectaculoasă, rămînea în parte artificială. Ea nu are valoare decît dacă se neglijează, în „fluidul" cosmic, presiunea, ceea ce este o simplificare rezonabilă dacă se remarcă faptul că, empiric, această presiune este foarte mică în raport cu densitatea. Dar poate că ea nu a fost întotdeauna astfel și, în orice caz, paralelismul teoretic este denaturat din această cauză. Desigur, analogia nu este lipsită de interes din punct de vedere fizic, așa cum notează Bondi: ea dovedește mai întîi că, în aplicațiile cosmologice, diferența dintre teoria relativistă și teoria newtoniană este determinată de raportul dintre presiune și densitate — și nu ca în aplicațiile locale, de raportul dintre potențialul gravitațional și masa de repaus [1];

[1] H. BONDI, *Cosmology*, *op. cit.*, p. 104.

pe de altă parte, arătînd că teoria newtoniană, care este o excelentă aproximaţie la scară locală, este la fel şi la scară cosmică, demonstraţia lui Milne confirmă că această teorie se poate aplica cu deplină siguranţă la probleme de scară intermediară, spre exemplu la formarea galaxiilor, evitîndu-se astfel formulele relativiste mai greoaie şi mai puţin clare [1].

Descoperirea analogiei între universurile relativiste şi universurile newtoniene are însă mai ales un interes istoric şi epistemologic : pentru Milne ea avea valoarea unui manifest. Treizeci de ani mai tîrziu, ea a permis să se traseze mai bine itinerarul intelectual al celei de-a doua generaţii cosmologice şi să se precizeze deosebirile şi opoziţiile dintre noua cosmologie şi cosmologia relativistă.

Încă din primele rînduri ale articolului lui Milne, se vede conturîndu-se idealismul său : „Expansiunea Universului", spune el, nu are conţinut fizic ; această expresie indică pur şi simplu alegerea unui aparat matematic particular pentru descrierea fenomenelor ; alternativa, care constă în considerarea spaţiului drept static şi a expansiunii drept o mişcare reală în spaţiu, nu este aprioric nici mai bună, nici mai proastă : „În fiecare caz, spaţiul este o construcţie realizată de matematician pornind de la observaţiile care ar putea fi făcute în principiu". Pentru Milne, demonstraţia lui are deci un sens epistemologic : o structură „reală" a spaţiului nu există. Motivele hotărîtoare pentru a alege o anumită structură trebuie să fie acelea care permit să se facă din lumea văzută din interior un sistem de aparenţe bine fundamentate.

Dar ceea ce frapează în mod deosebit este accentul polemic al lui Milne faţă de R.G. ; se simte deja o voinţă de ruptură care în continuare se va întări din ce în ce mai mult. A spune că Universul în expansiune este o consecinţă a teoriei relativităţii este greşit. Milne adaugă că toate fenomenele de importanţă cosmică observabile la ora actuală „ar fi putut să fie prezise de către fondatorii hidrodinamicii secolului al XVIII-lea, poate chiar de către Newton". Astfel ruptura cu R.G. se petrece într-un sens dublu : ea reprezintă desigur primul act al unei acţiuni de renovare a cosmologiei, care va trebui separată de orice teorie fizică locală şi construită pe principii autonome. Dar ea are în acelaşi timp sensul unei reîntoarceri la sursele clasice, ca şi cum Milne ar fi dorit să şteargă o întreagă evoluţie spirituală spre materialismul scientist, printre rezultatele căruia poate fi considerată în anumite privinţe şi teoria R.G. —

---

[1] H. BONDI, *op. cit.*, pp. 89 şi 105.

şi să reaşeze cosmologia în cadrul *Weltanschauung*-ului lui Leibniz şi al lui Newton, în care natura apărea în lumina unui Dumnezeu raţional.

Aceste motive de restaurare a cosmologiei newtoniene sînt desigur caracteristice pentru Milne, dar la ceilalţi susţinători ai metodei deductive în cosmologie nostalgia ştiinţei clasice este mai puţin evidentă. Este adevărat totuşi că Bondi, de exemplu, aşează cosmologia newtoniană pe primul loc în enumerarea teoriilor, deşi, cu toate că au existat precursori, ea este în fapt mai ales opera unor autori contemporani sau creatori ai cosmologiei relativiste: Milne, McCrea, Heckmann.

Bondi, spre deosebire de Milne, deşi scrie cu peste douăzeci de ani mai tîrziu, nu manifestă nici o intenţie polemică faţă de R.G., iar discuţia sa asupra cosmologiei newtoniene face să iasă mai bine în relief interesul confruntării cu cosmologia relativistă. Această confruntare permite să se vadă punctul în care cosmologia deductivă înţelege să continue, şi nu să reformeze, munca relativiştilor „ortodoxi". Acesta este chiar punctul în care cosmologia newtoniană îşi dezvăluie slăbiciunea şi face să apară, prin contrast, superioritatea viziunii relativiste asupra lumii.

Ireproşabilă atunci cînd considerăm Universul „în linie dreaptă", metoda newtoniană, spune Bondi, îşi dovedeşte „slăbiciunea intrinsecă" atunci cînd se pune problema de a afla cum îi *apare* Universul unui observator situat *înăuntrul* său şi care ia parte la mişcarea sa, adică nouă înşine. Într-adevăr, toate observaţiile noastre rezultă din examinarea luminii care ne vine de la obiecte îndepărtate. De aceea este indispensabil să luăm în consideraţie modul de propagare a luminii în Univers. Dar în privinţa acestui punct, cosmologia newtoniană cere ipoteze suplimentare şi „nu se pot obţine rezultate rezonabile decît servindu-ne de concepte şi metode post-newtoniene"[1]. Invers, şi această consecinţă este evidentă, deşi în discuţia lui Bondi ea rămîne implicită, cosmologia relativistă încorporează direct problema propagării luminii în cea a structurii geometrice şi dinamice a Universului; observatorul şi semnalele pe care acesta le primeşte fac parte integrantă din această structură. Din punctul de vedere al noii cosmologii, aceasta este caracteristica cea mai satisfăcătoare a cosmologiei relativiste, deşi aceasta nu admite aprioric posibilitatea de a aplica ecuaţiile cîmpului din teoria R.G. la ansamblul Universului. Astfel, Milne ia drept punct de plecare teoria relativităţii restrînse, respingînd

---

[1] H. BONDI, *op. cit.*, p. 86.

teoria einsteiniană a gravitației și toate teoriile deductive care presupun într-un mod sau altul postulatul relativist după care, în orice formă metrică spațio-temporală capabilă să reprezinte Universul, traiectoriile fotonilor trebuie să fie geodezice ale spațiu-timp-ului de-a lungul cărora orice interval este nul. Astfel, confruntarea cu teoria newtoniană face să apară net ceea ce vrea să păstreze cosmologia nouă din cosmologia relativistă — asocierea intimă dintre metrica cosmică și legile de propagare a luminii — și ceea ce nu primește decît cu indiferență sau cu neîncredere : aplicarea ecuațiilor lui Einstein la materia cosmică.

Capitolul V

COSMOLOGIA DEDUCTIVĂ: RELATIVITATEA CINEMATICĂ

A. Teoria relativității cinematice

Dintre teoriile noii cosmologii, cea care ne va reține atenția cel mai mult este *relativitatea cinematică*, fondată și dezvoltată între 1932 și 1950 de către Milne, Whitrow și Walker. Acest privilegiu cere o anumită justificare, dat fiind faptul că el pare disproporționat cu importanța reală pe care mulți dintre savanți ar fi dispuși să o atribuie acestei teorii; dar, după criteriile noastre, care nu corespund exact cu cele ale științei pozitive, există mai multe motive care ne determină să tratăm teoria R. C. într-un mod privilegiat.

Mai întîi, aceasta este prima dintre teoriile de acest fel, prima tentativă de a degaja gîndirea cosmologică de teoria R.G., prima încercare din epoca contemporană de a aplica sistematic metoda deductivă în cosmologie[1]. Principalului autor al acestei teorii i se datorează expresia de „principiu cosmologic" și sensul acesteia. Personalitatea excepțională a lui Milne a dat, pe de altă parte, operei sale și polemicilor care l-au înconjurat un accent unic. Gînditor extrem de original și de viguros (talentul strălucește chiar și în cel mai redus dintre memoriile sale, la fel ca și în cea mai scurtă notă a lui Eddington), dar intransigent, dintr-o bucată, angajat cu pasiune într-o acțiune căreia îi dădea atît un sens metafizic, cît și unul științific, Milne știa că merge aproape singur pe drumul său într-o lume intelectuală a cărei neîncredere, ba chiar ostilitate, nu o ignora. El se voia „eretic" și făcea puțin caz de știința timpului său, însă nu se pleca în fața nici unei sfidări; există desigur puține exemple în care o știință atît de austeră să fi fost trăită ca o asemenea aventură.

Milne reușise să comunice cîte ceva din pasiunea și din intransigența sa celor mai apropiați colaboratori, așa cum o dovedește pasajul în care Walker vorbește cu ironie despre acei cosmologi

---

[1] *Relativity, Gravitation and World-Structure* a precedat cu un an apariția cărții *Relativity Theory of Protons and Electrons* a lui Eddington.

relativişti care aşteaptă ca observaţia să binevoiască să facă o alegere — de care ei se recunosc incapabili — între diferitele modele de univers; Milne şi el, avînd o idee mai elevată despre puterea raţiunii, „sînt destul de îndrăzneţi pentru a propune un singur model şi pentru a-l susţine sau a cădea odată cu el ”[1].

În sfîrşit, ni se pare că Milne şi colaboratorii săi, chiar dacă nu au adus secolului o imagine întru totul convingătoare asupra Universului, au explorat totuşi idei atît de profunde şi au aruncat o lumină atît de nouă asupra conceptului de univers, încît opera lor merită cea mai atentă examinare din partea filozofilor.

Totuşi, prezentarea teoriei relativităţii cinematice în cadrul lucrării de faţă se loveşte de unele dificultăţi speciale care ţin în acelaşi timp de natura sa şi de condiţiile dezvoltării sale. Ea este foarte bogată în idei şi, în acelaşi timp, foarte elaborată din punct de vedere matematic şi, în această privinţă, încărcată de complicaţii inutile, aceasta fiind cel puţin părerea unor experţi de indiscutabilă competenţă, ca Robertson. Pe de altă parte, în timpul celor optsprezece ani care i-au fost consacraţi de către Milne, ea nu a încetat să se transforme şi să se îmbogăţească, nu numai prin simpla adăugare de noi rezultate, ci cam în felul în care se transformă stilul unui compozitor sau metoda unui filozof.

Ambiţia lui Milne nu a avut niciodată limite fixe; ea s-a amplificat constant, pe măsură ce munca teoretică avansa şi gîndirea filozofică se maturiza; nimic nu era dealtfel mai străin concepţiei pe care Milne o avea despre ştiinţă decît ideea de a aduce o „contribuţie limitată”. Căutarea unei soluţii a problemei cosmologice care să explice clar expansiunea galaxiilor evitînd defectele cosmologiei relativiste a devenit prilejul unei remodelări a tuturor conceptelor de fizică teoretică: spaţiul, timpul, mişcarea, materia, Universul. În sfîrşit, răsturnînd ordinea „ortodoxă”, Milne a trecut la reconstruirea dinamicii, a electromagnetismului, apoi la deducerea unei teorii gravitaţionale.

Pe de altă parte, opera sa este construită într-un astfel de spirit încît este dificil de comparat structura sa logică şi rezultatele sale cu cele ale altor teorii; totuşi, anumite întîlniri sau apropieri, căutate sau suportate de Milne — care uneori le ascundea atunci cînd îl deranjau în preferinţele sale — sînt importante şi va trebui să le punem în evidenţă.

Cu toate aceste diverse dificultăţi, ne propunem să prezentăm ansamblul teoriei, insistînd însă îndeosebi asupra fundamentelor

---

[1] *Kinematic Relativity — A Discussion*, Observatory, 64, 1941, p. 23.

filozofice, metodologiei şi dezvoltărilor sale tipic cosmologice. Principala lucrare la care ne vom referi va fi *Kinematic Relativity*, publicată în 1948, ultima expunere completă a teoriei. Vom face însă referiri importante şi la *Relativity, Gravitation and World Structure* (1935) şi la *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, text redactat după lecţiile pe care moartea, survenită în cursul verii anului 1950, l-a împiedicat pe Milne să le mai ţină la Universitatea din Birmingham [1].

Acum, cînd ne aflăm încă în punctul de plecare, să adunăm cîteva postulate generale, formate de timpuriu în gîndirea lui Milne, şi cîteva negaţii, care acţionează fără încetare în metoda sa şi pe care este bine să le avem prezente în minte dacă vrem să-l însoţim pe Milne în uimitoarea sa călătorie. Principalul său postulat metodologic este că lumea este un sistem de aparenţe — în mod esenţial aparenţe măsurabile — şi tot ceea ce depăşeşte aparenţele imediat perceptibile cu aparate adecvate, ca şi măsurătorile practicabile efectiv, reprezintă o construcţie intelectuală în care intră o parte de convenţie.

Pe de altă parte, Milne vede lumea mai curînd ca astronom decît ca fizician; el o consideră mai mult ca un spectacol decît ca un domeniu de intervenţie activă şi spune destul de clar că nu poate exista o fizică cu calităţi *tactile*. De aici cîteva negaţii ferme: el contestă *spaţiului fizic* orice valoare de realitate; nu admite faptul că măsura de bază ar fi cea a intervalului spaţial, ceea ce are drept consecinţă punerea în discuţie a principiilor celor mai tradiţionale ale metrologiei de la originea lor [2]. Căci rigla rigidă nu mai este pentru Milne ceea ce este ea în mod tradiţional — deşi acum îşi pierde încetul cu încetul acest privilegiu — o dată metrologică primară; la drept vorbind, în teoria sa ştiinţifică nici nu mai există, vreo măsură a *lungimii*, ci numai una a *distanţei*. Ca şi cum observatorul, fiind lipsit de orice volum, nu ar putea să ţină în acelaşi timp cele două capete ale metrului: „Să considerăm un observator care ţine o riglă gradată; dacă fixează la extremitatea cea mai apropiată de el a riglei coordonata distanţă *zero*, iar coordonata distanţă *unu* la extremitatea îndepărtată de el, atunci lungimea riglei va fi tocmai *unu*[3] ..." Însă practic,

---

[1] E. A. MILNE, *Relativity, Gravitation and World Structure*, Oxford, 1935., *Kinematic Relativity*, Oxford, 1948., *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, Edward Cadbury Lectures at the University of Birmingham for 1950, Oxford, 1952.

[2] *Relativity, Gravitation,...,op. cit.*, § 4, p. 14.

[3] *Modern Cosmology...*, *op. cit.*, p. 46. Eddington, mai clasic în această privinţă şi care dădea un sens cosmic definit unităţii de lungime, a criticat ocazional dar ferm poziţia lui Milne (*Philosophy of Physical Science*, Cambridge, 1939, pp. 72—73).

măsurarea se face la fel, indiferent de direcţie, de la dreapta la stînga sau de sus în jos şi pînă la Gauss sau Riemann toată geometria s-a bazat pe acest lucru...

În plus, Milne separă foarte net — şi într-adevăr în mod ontologic — noţiunea de spaţiu de cea de timp [1], acestea urmînd să joace roluri diferite în reprezentarea fizico-matematică a Universului. Într-adevăr, în legătură cu timpul experienţa este imediată ; poate chiar că aceasta este singura cunoaştere directă care să nu fie cea a unei aparenţe ; în orice caz, „trecerea timpului este un constituent de netăgăduit al experienţei noastre" [2], în timp ce spaţiul este o simplă construcţie, cu toate că faptul că el are trei dimensiuni este totuşi acceptat de Milne ca o dată empirică. Rezultă că conceptul relativist de *spaţiu-timp* trebuie înlăturat, cu toate comodităţile matematice pe care acesta le poate oferi : reprezentarea spaţio-temporală asociază într-o aceeaşi geometrie elemente eterogene : măsurile de timp care sînt date şi măsurile de spaţiu care sînt construite. Aici se află, după Milne, sursa paradoxurilor relativiste [3], de care teoria sa este scutită.

În sfîrşit, interpretarea curentă a principiului relativităţii tinde, după Milne, să-i limiteze semnificaţia şi să-i deformeze sensul, restrîngînd de fapt semnificaţia covarianţei la schimbări de coordonate într-un punct, pe cînd ceea ce este interesant sînt schimbările de reper de la un observator la altul. Adevăratul sens al principiului relativităţii este contrazicerea solipsismului şi depăşirea punctului de vedere al observatorului unic, care îşi poate alege într-o infinitate de moduri procedeele de reperare a lumii fizice, fără a putea să iasă totuşi dintr-un sistem de aparenţe.

Acesta este motivul pentru care Milne se străduieşte să creeze conceptul de observator, deosebind ceea ce observă el efectiv, timpul, unghiuri, semnalele pe care le primeşte, de ceea ce construieşte plecînd de la observaţiile sale — scopul acestei construcţii fiind acordul între propriile sale măsurători şi cele ale altor observatori [4].

În felul acesta se schiţează trăsăturile principale ale divergenţei dintre cosmologia relativistă şi cosmologia cinematică : în timp ce prima este inductivă, cea de-a doua se construieşte aprioric ; metrologia relativistă este cea a riglei şi a ceasului, în timp

---

[1] *Relativity, Gravitation..., op. cit.*, § 5, p. 14.

[2] Ibid..., § 6, p. 16.

[3] În această privinţă, Milne se apropie deci de Bergson. Dar concepţia sa despre măsurarea timpului este în realitate diferită de cea care se întîlneşte în *Durée et Simultanéité*. Vezi mai jos, p. 183.

[4] *Relativity, Gravitation,...*, § 6, p. 16 ; § 376, p. 272.

ce Milne se lipseşte de riglă şi vrea să definească toate mărimile fizice măsurabile cu ajutorul ceasului şi al teodolitului; pentru cosmologia relativistă, Universul *este* o varietate cvadridimensională structurată de o metrică riemanniană; pentru Milne, Universul nu este decît un sistem de aparenţe observabile dintr-o infinitate de puncte de vedere; pe cînd trecerea timpului este pentru fiecare observator o dată imediată, spaţiul metric nu este decît o construcţie intelectuală destinată să asigure o comunicare reglementată între observatori.

I. Măsurarea timpului şi conceptul de „echivalenţă"

Deci, la baza teoriei se găseşte conceptul de *observator*: acest observator este un *ego*, căruia la început nu îi este atribuită în mod explicit decît conştiinţa „trecerii timpului", în sensul — spune Milne — în care Whitehead vorbeşte de „trecerea naturii", adică în sensul că timpul nu este nimic altceva decît această „trecere". Între două evenimente pe care, prin abstracţie, le putem presupune punctuale (Milne se referă aici în mod explicit la analizele lui Whitehead [1]), oricare ar fi aceste evenimente, *ego*-ul stabileşte o relaţie fie de simultaneitate, fie de tip „înainte-după". Aceste evenimente se prezintă pentru *ego* ca un ansamblu continuu şi ordonat de puncte. *Ego*-ul poate stabili deci în mod arbitrar o corespondenţă biunivocă şi punctuală între mulţimea numerelor reale şi mulţimea evenimentelor nesimultane de care ia cunoştinţă. Cu condiţia ca ordinea înainte-după dintre două evenimente oarecare să corespundă întotdeauna ordinei mai mic-mai mare dintre numerele asociate, această corespondenţă va fi, prin definiţie, „un ceas etalonat arbitrar". Acest arbitrar semnifică faptul că conceptul de „timp uniform" nu poate fi determinat în raport cu un observator unic.

Acestea fiind stabilite, să presupunem doi observatori A şi B, avînd fiecare cîte un ceas, în sensul de care am vorbit, şi, în plus, fiind capabili să citească unul pe ceasul celuilalt. Cum trebuie să fie limitat, cel puţin pentru unul dintre ei, acest arbitrar al alegerii, astfel încît să se poată spune, într-un sens definit, că şi unul şi celălalt citesc pe ceasurile lor respective „acelaşi" timp, sau, mai bine zis, că ceasurile lor sînt „congruente"? Aceasta este „prima

---

[1] Vezi în special A. N. WHITEHEAD, *The Concept of Nature*, Cambridge U.P., 1920, cap. III.

problemă a măsurării timpului[1]". Milne o rezolvă în felul următor : dacă B citeşte simultan pe propriul său ceas timpul t'_2 şi pe cel al lui A, t_1, şi dacă după mai multe citiri stabileşte funcţia

$$t'_2 = \theta(t_1),$$

dacă, pe de altă parte, A stabileşte în aceleaşi condiţii funcţia

$$t_3 = \varphi(t'_2),$$

atunci, prin definiţie, cele două ceasuri vor fi congruente dacă

$$\theta = \varphi$$

(Anexa, IX, ec. 98).

Ceasurile fiind etalonate arbitrar la pornire, poate B întotdeauna să-l reetaloneze pe al său în aşa fel încît să-l facă congruent cu cel al lui A? Milne demonstrează că este întotdeauna posibil să se construiască o funcţie de reetalonare care să rezolve problema şi să îndeplinească condiţia cerută de a fi monotonă şi crescătoare, astfel încît să conserve relaţia înainte-după dintre două evenimente oarecare.

Raţionamentele precedente presupun posibilitatea „citirii" reciproce a ceasurilor, adică o anumită formă de acţiune reciprocă a observatorilor unul asupra celuilalt. Ele presupun trimiterea, de exemplu de către A, a unui semnal care luminează ceasul lui B. Timpul care intră în funcţiile precedente, să spunem în prima, poate fi deci considerat ca desemnînd momentele de recepţie şi de emisie (primul citit pe ceasul receptorului, iar al doilea pe ceasul emiţătorului) a semnalelor luminoase pe care le-ar trimite şi le-ar primi cei doi observatori.

Milne insistă însă asupra faptului că el nu presupune nici o proprietate anume a luminii, în afară de faptul că aceasta ascultă de o „axiomă elementară de cauzalitate" : cauza precede efectul, adică momentul t_2 (citit pe ceasul lui A) în care A vede ceasul lui B este posterior momentului t_1 (citit pe ceasul lui A) în care A şi-a trimis *flash*-ul său. Pe scurt, aceasta este cea mai mică concesie pe care Milne o putea face materialităţii interacţiei dintre cei doi *ego*. Funcţiile definite mai sus pot fi denumite „funcţii-semnal".

[1] *Kinematic Relativity*, *op. cit.*, § 9, p. 16.

Milne ajunge apoi la problema celor trei observatori, adică de fapt a infinității observatorilor identificabili cu punctele unei drepte; acești observatori sînt presupuși coliniari, în mod permanent în tot decursul timpului. Aceasta reprezintă „cea de-a doua problemă a măsurării timpului". Soluția ei determină întreaga teorie; ea se bazează pe teoria grupurilor continue și rezultă din colaborarea lui Milne cu Whitrow. Cum ea este vastă și destul de complicată ne vom mărgini să indicăm principalele ei etape, să punem în evidență articulațiile raționamentului și să specificăm rezultatele[1].

Datele problemei sînt următoarele: dacă ceasul observatorului A este congruent cu cel al lui B și cu cel al lui C (și, mai general, cu cele ale lui D, E, F, . . .), care sînt condițiile suplimentare care trebuie îndeplinite pentru ca ceasul lui B să fie de asemenea congruent cu cel al lui C (și al lui D, E, F, . . .)? Mai intuitiv, aceasta revine la întrebarea: dacă A și B s-au pus de acord asupra definirii mișcării lor relative, care sînt restricțiile care trebuie impuse mișcării relative a lui A și C pentru ca acordul lui A și C asupra definirii acestei de-a doua mișcări să antreneze în mod necesar acordul lui B și C asupra definirii mișcării lor relative? Dar aceasta este o imagine în care nu trebuie să avem încredere, pentru că definirea matematică a mișcării nu poate interveni decît mai tîrziu, atunci cînd rezolvarea problemei în discuție va permite definirea *distanței* dintre doi observatori și a *timpului-coordonată*, adică a epocii atribuite de către un observator unui eveniment îndepărtat; or, în spiritul teoriei, aceasta nu este posibil înainte ca ceasurile observatorilor să fi fost etalonate convenabil.

Milne găsește că *funcțiile-semnal* care pun ceasurile în legătură două cîte două trebuie să satisfacă o relație de comutare (Anexa, IX, ec. 99); așa cum a arătat Whitrow prin aplicarea teoriei grupurilor, această relație este suficientă pentru a determina, *pînă la o funcție arbitrară*, *funcțiile-semnal* pentru orice mulțime de observatori A_q care îndeplinesc condițiile problemei (Anexa, IX, ec. 100). O astfel de mulțime de observatori formează o „echivalență liniară"; de aici rezultă „teorema fundamentală" a teoriei. Cu tot arbitrarul în alegerea „funcției generatoare" a echivalenței, în realitate nu există decît o singură echivalență. Căci, dacă două echivalențe corespund la două funcții generatoare distincte, φ și ψ, se poate demonstra că este întotdeauna posibil, pentru membrii uneia dintre echivalențe, de exemplu φ, să-și reetaloneze ceasurile astfel încît echivalența φ să devină identică cu echiva-

[1] *Kinematic Relativity, op. cit.*, § § 11—17, pp. 18—26.

lenţa ψ. Rezultat evident capital : el arată că condiţiile de congruenţă între ceasuri extinse la mai mult de doi observatori sînt suficiente pentru a fundamenta realitatea obiectivă a structurii numerice caracteristice a unei multitudini de observatori puşi de acord. Rămîne posibilă o infinitate de descrieri metrice ale unei astfel de multitudini, dar întotdeauna se poate trece, printr-o transformare definită, de la una dintre aceste descrieri la alta.

Totuşi, trebuie să reamintim că nu este încă vorba decît de observatori coliniari şi că Milne introduce totdeauna *coordonatele* temporale şi spaţiale [1] în cadrul acestei ipoteze ; definire indispensabilă, pentru că singurele operaţii metrice cunoscute pînă acum, cele necesare pentru definirea echivalenţei, sînt următoarele : 1) reperarea, de către fiecare observator, pe propriul său ceas, a momentelor corespunzătoare evenimentelor de care are cunoştinţă în punctul în care se găseşte ; citirea simultană, de către fiecare observator, a unui număr înscris pe ceasul său şi a unui număr înscris pe ceasul altui observator. Dar cadrul metric astfel definit nu îi este în sine suficient unui observator, pentru a situa un eveniment care nu se produce în punctul în care se găseşte acesta. Spre exemplu, atunci cînd *B* citeşte pe ceasul său valoarea t_2', notează timpul în care semnalul luminos lansat de *A* a ajuns la el ; simultan, el citeşte t_1 pe ceasul lui *A*, ceea ce îi indică momentul pe care *A* îl atribuie emiterii semnalului. Dar aceasta nu îi ajunge nici pentru a-i atribui lui *A* o distanţă în raport cu el însuşi, nici pentru a atribui, în propriul său sistem de reperare a timpului, o epocă emiterii semnalului de către *A*. Pentru ca *B* să poată atribui, în propriul său cadru metric, coordonate punctului-eveniment („emiterea semnalului în *A*") sau, mai general, pentru ca un observator să poată atribui coordonate unui punct-eveniment situat la distanţă faţă de el, este necesară o convenţie suplimentară. Dar ar fi fost zadarnic să definim sistemul de coordonate al unui observator individual înainte de a ne asigura de posibilitatea de a transforma aceste coordonate în cele ale unui alt sistem, ceea ce implică tocmai definirea *echivalenţei*.

Convenţia adoptată de Milne, rămînînd în cadrul echivalenţei liniare, este cea mai simplă din cîte se pot concepe ; dealtfel, ea corespunde procedeului empiric — a cărui folosire se extinde astfel într-o oarecare măsură, deşi rămîne limitată — de măsurare a distanţelor prin emiterea unui semnal care se reflectă pe obiectul a cărui distanţă căutăm s-o determinăm (metoda „radar").

---

[1] *Kinematic Relativity, op. cit.*, §§ 18—23, pp. 25—30.

Dacă A trimite în momentul t_1 un semnal către B, iar acest semnal revine în A în momentul t_3, coordonatele punctului-eveniment („reflexia semnalului în B") măsurate de către A vor fi, prin definiție,

— *momentul* său : $t = \frac{1}{2} (t_3 + t_1)$,

— *distanța* sa : $r = \frac{1}{2} c(t_3 - t_1)$ (Anexa, IX, ec. 101).

Alegerea constantei este arbitrară ; este suficient să convenim că toți observatorii aleg același număr c pentru a obține o axiomă corespunzătoare cu ceea ce în fizica tradițională este constatarea empirică sau semiempirică a faptului că viteza luminii este constantă în vid.

Pornind de aici, se obțin cele două funcții prin care se exprimă observațiile fundamentale pe care A le face în privința lui B : funcția „moment-distanță", care dă, măsurată de către A, distanța lui B funcție de timpul-coordonată al lui A, și funcția „mersul ceasurilor" (*clock-running*) care dă relația, evaluată de către A, dintre timpul-coordonată al lui B și timpul-coordonată al lui A*.

Apare astfel clar rolul privilegiat acordat de către Milne măsurătorilor de timp. Imediate și directe sînt numai citirile pe ceas, ca t sau t' ; nu există citiri corespunzătoare pentru metri. Numai plecînd de la aceste măsurători imediate se pot construi mărimile coordonate de distanță și de timp. Vedem, pe de altă parte, că mărimea spațială definită nu este *lungimea*, ci într-adevăr *distanța*.

Funcțiile *moment-distanță* și *mersul ceasurilor* pot fi construite pornind de la *funcțiile-semnal* care coordonează, de la un observator la altul, măsurătorile imediate ale timpului. Aceste *funcții-semnal* sînt de asemenea suficiente pentru a determina formulele pentru transformările de coordonate de la un observator la altul în cadrul echivalenței liniare.

Odată pus la punct acest aparat metric, Milne poate da exemple de echivalență specificînd funcția generatoare ψ. Cea mai simplă alegere este evident $\psi(t) \equiv t$. Din aceasta se deduce că transformarea coordonatelor trebuie să ia forma transformării Lorentz și că compunerea vitezelor se face în conformitate cu formula lui Einstein. Acest rezultat este foarte important pentru Milne : el dovedește că axiomele teoriei sale permit să se reconstruiască aprioric cinematica ralativistă.

* Anexa, IX, ec. (102, 103).

În scara timpului determinată de alegerea $\psi(t) = t$ — scară pe care în cursul teoriei Milne o va numi de obicei scara t — există o origine naturală a timpului: membrii echivalenţei liniare sînt strînşi, în vecinătatea momentului $t = 0$, într-un interval arbitrar de mic, apoi se îndepărtează unii de alţii cu viteze relative constante; mai mult, în scara t coordonatele se transformă de la un observator la altul după formulele lui Lorentz şi nu poate exista simultaneitate absolută.

Într-o altă descriere a echivalenţei, în care funcţia generatoare ia o formă logaritmică (Anexa, IX, ec. 107), membrii echivalenţei sînt, dimpotrivă, în repaus relativ; timpul nu mai are o origine naturală şi se întinde de la minus la plus infinit; simultaneitatea absolută îşi recapătă sensul; timpul este cel „comun". Aceasta este ceea ce Milne numeşte de obicei scara τ. Or, conform teoremei fundamentale, nu există în realitate decît o singură echivalenţă, iar cele două scări metrice, (precum şi infinitatea de alte scări care ar putea fi concepute) nu sînt decît două moduri de a descrie una şi aceeaşi „entitate cinematică".

După generalizarea la trei dimensiuni şi identificarea Universului cosmologiei cu o echivalenţă, vom examina consecinţele importante pe care Milne le trage din această posibilitate de a ordona evenimentele din Univers după două scări ale timpului. Această dublă scară este una din cele mai frapante şi mai noi caracteristici ale cosmologiei cinematice. Aceasta este totuşi o descoperire relativ tîrzie în cadrul acestei teorii. Ea nu apare în prima carte a lui Milne, ci puţin mai tîrziu, în lucrările de reconstruire deductivă a dinamicii. Urmărindu-se racordarea noii dinamici cu dinamica clasică, a apărut clar faptul că scara t, care este adecvată interpretării expansiunii cosmice şi formulării legilor electromagnetismului, era cu totul improprie pentru a asigura reuşita acestei racordări. Dimpotrivă, explicitarea scării τ dădea cheia acestei reuşite[1].

II. Echivalenţa tridimensională şi substratum-ul

Cu toate că *ideea* de echivalenţă se poate generaliza fără dificultate de la una la trei dimensiuni ale spaţiului, procedeul matematic este în realitate dificil şi lui Milne nu i-a reuşit pe deplin. Nu este vorba de faptul că definiţia echivalenţei tridimensionale la care el ajunge pînă la urmă ar fi lipsită de claritate, sau că nu

---

[1] *Kinematic Relativity, op. cit.*, p. 8.

s-ar acorda bine cu principiile sale. Dimpotrivă, ea este deosebit de simplă, dar, în afară de faptul că deducţia este foarte laborioasă, lipsindu-i poate mijloacele matematice adecvate, generalitatea rezultatelor sale este limitată de ipoteze care rămîn pe jumătate implicite şi care nu sînt deci perfect justificate. Acesta este un lucru important nu numai din punctul de vedere al „esteticii" teoriei, ci şi, aşa cum vom vedea, pentru ansamblul gîndirii cosmologice.

Totuşi trecerea este viabilă, poate fi îndeplinită fără riscuri cu mijloace formale convenabile şi duce la rezultate bine determinate. Acest fapt rezultă din cercetările lui Robertson şi Walker. Aceşti doi autori au abordat problema în acelaşi timp, pe căi sensibil diferite şi independent unul de celălalt. Concluziile lor concordă întru totul[1]. Această convergenţă este cu atît mai remarcabilă cu cît Walker, spre deosebire de Robertson, era un partizan fervent al teoriei lui Milne. Din această operă matematică delicată vom reţine pentru moment trei idei necesare pentru a clarifica progresele lui Milne.

1. Pentru clarificarea problemei este necesară şi suficientă o folosire sistematică a teoriei grupurilor.

2. Aplicarea axiomelor milneene duce la structurarea spaţiului şi timpului (fie că Milne o vrea sau nu . . .) printr-o metrică identică în forma şi generalitatea sa cu aceea care defineşte universurile relativiste în ipotezele de omogeneitate şi de izotropie [1]. Sensul fizic al formulelor nu este acelaşi în relativitatea cinematică (unde ele nu definesc decît „echivalenţa" observatorilor) şi în R.G. (unde ele exprimă existenţa unor forţe universale de gravitaţie şi eventual de „repulsie cosmică"). Identitatea expresiilor geometrice este totuşi un rezultat frapant şi imprevizibil, al cărui interes depăşeşte discutarea teoriei lui Milne şi asupra căruia, din acest motiv, va trebui să revenim [2].

3. Soluţia aleasă de Milne nu defineşte decît unul din cazurile posibile ale echivalenţei tridimensionale, cel care corespunde, în metrica relativistă, cazului $R(t) = t$. Acesta este cazul cel mai simplu, în sensul că i se poate aplica transformarea Lorentz şi conservă de la un observator fundamental la altul măsurătorile făcute de fiecare dintre ei [3]. Aceşti observatori sînt în mişcare

[1] H. P. ROBERTSON, *Kinematics and World-Structure*, Astrophysical J., 82, 1935, pp. 284—301; 83, 1936, pp. 187—201 şi 257—271.
A.G. WALKER, *On Milne's Theory of World-Structure*, Proceedings of the London Math. Soc., seria a II-a, 42, 1936, pp. 90—127.
[2] Vezi Anexa, IV, ec. 41. Despre analiza lui Robertson, vezi mai jos pp.196—203.
[3] Anexa, IX, ec. 108.

relativă uniformă, sau, în termeni astronomici, viteza de recesiune a unei galaxii date este pentru orice observator constantă în timp.

Să ne întoarcem acum la Milne care, făcînd această alegere, examinează ce devine relaţia dintre scara t şi scara τ în echivalenţa tridimensională. Or, trecînd la scara τ, în care observatorii apar în repaus relativ, spaţiul devine cel „comun" : metrica spaţiului devine invariabilă. Şi Milne introduce ipoteze — implicite şi de fapt restrictive — după care această metrică „comună" trebuie să fie hiperbolică, adică neeuclidiană şi de curbură negativă. Altfel spus, în măsura în care pentru Milne spaţiul cosmic poate fi considerat ca o structură obiectivă, el este infinit. Aceasta ne arată că Milne era tot atît de ataşat de ideea unei lumi infinite pe cît erau Eddington şi Lemaître de cea a unei lumi finite. Dealtfel, motivele lui Milne nu sînt mai convingătoare decît motivele contrarii ale rivalilor săi... Să aşteptăm ca fizionomia Universului milnean să fie ceva mai bine schiţată pentru a le examina.

Diferitele aspecte metrice pe care poate să le ia echivalenţa unică, după cum reţeaua de coordonate este construită pe baza scării t sau pe cea a scării τ, sînt acum bine schiţate în cele trei dimensiuni. În primul caz, în afara faptului că timpul are o origine naturală şi că *ego*-urile se văd unele pe altele în mişcare relativă de îndepărtare rectilinie şi uniformă, este imposibil să se conceapă o simultaneitate sau un spaţiu „comun". Situaţia relativă a observatorilor echivalenţi se aseamănă într-o oarecare măsură cu cea a observatorilor din teoria relativităţii restrînse: fiecare este îndreptăţit să considere că metrul altora se contractă şi că ceasul său rămîne în urmă; diferenţa constă în aceea că a existat un moment iniţial comun tuturor. În raport cu această origine comună, fiecare îi consideră pe ceilalţi mai „tineri" decît el. Spaţiul este euclidian, însă nu există decît spaţii „proprii" : lungimile nu sînt invariante. Combinate cu măsurătorile de timp, corespondenţa lor de la un observator la altul se realizează prin aplicarea transformării Lorentz.

În scara τ, dimpotrivă, timpul este infinit în ambele sensuri şi membrii echivalenţei sînt permanent în repaus relativ. Simultaneitatea este „comună", la fel şi spaţiul, dar acesta nu mai este euclidian, cu toate că păstrează proprietăţile metrice de izotropie şi de omogeneitate ale spaţiului euclidian şi că rămîne infinit.

Cu ajutorul unei ipoteze suplimentare, Milne va putea face din „echivalenţa" tridimensională, comunitate de observatori ideali, un adevărat model de univers. Se va putea pune atunci problema confruntării cu acest model a cunoştinţelor fizicii şi astronomiei empirice, dar va trebui să ne întrebăm : ce reprezintă variabila

„timp", care figurează în ecuaţiile fizicii? Este acesta timpul t, sau timp τ? Milne crede că tocmai în această privinţă fizica tolerează un echivoc şi că variabila temporală nu are acelaşi sens în diferitele ramuri ale teoriei fizice: timpul τ este cel al ecuaţiilor mecanicii newtoniene, iar timpul t cel al ecuaţiilor electromagnetismului ale lui Maxwell [1]; Milne recunoaşte că în alte cazuri atribuirea rămîne îndoielnică, de exemplu cînd este vorba de timpul măsurat prin dezintegrarea nucleelor radioactive. În orice caz, distincţia nu poate fi obţinută decît cu totul indirect, în ceea ce priveşte fenomenele cu durată foarte mare, căci în prezent, dînd acestui cuvînt sensul larg pe care i-l atribuie astronomii, cele două scări coincid. Dealtfel, aşa cum vom explica mai departe, distincţia dintre cele două scări ale timpului este departe de a avea, în teoria lui Milne, o semnificaţie exclusiv fizică; fiecare timp îşi are „valoarea" sa în sens axiologic. Mai simplu din punct de vedere matematic (cu toate că anumite legi sînt mai complicate în scara t), timpul t este mai adecvat pentru fenomenele cosmologice grandioase: expansiunea Universului sau desfăşurarea galaxiilor spirale. Pe de altă parte — şi mai ales — scara t, care implică reprezentarea unei origini naturale a timpului şi a unei „singularităţi" fizice şi matematice, impune ideea de creaţie. Timpul τ, dimpotrivă, timp galileian şi newtonian, este, dacă se poate spune aşa, timpul „ortodox" al ştiinţei, timpul pozitivist.

Acestea fiind spuse, să revenim la înlănţuirea deducţiilor. Pentru a transforma echivalenţa, comunitate de monade, în ceva care să conteze ca model de univers, pentru a pregăti trecerea de la cinematică la dinamică, este necesară o nouă ipoteză asupra densităţii membrilor echivalenţei, adică asupra distribuţiei în spaţiu a observatorilor echivalenţi.

Se presupune că această distribuţie trebuie să fie omogenă, dar acest principiu nu poate fi folosit în forma obişnuită, pentru că în cazul în care măsurarea mărimilor spaţiale, deci a volumelor, încetează de a mai fi „comună", el îşi pierde sensul obişnuit. Milne îl interpretează ca urmare prin intermediul principiului cosmologic, care îşi găseşte aici o aplicaţie deosebit de izbitoare: mulţimea observatorilor trebuie să fie distribuită astfel încît să prezinte pentru toţi aceeaşi aparenţă şi să nu existe nici un punct de vedere asupra sistemului care să se deosebească de altele [2]. O echivalenţă

[1] *Kinematic Relativity*, *op. cit.*, § 46, p. 50.

[2] În treacăt fie spus, Milne, care în ultima sa lucrare atribuie lui Finlay-Freundlich şi nu lui însuşi introducerea expresiei „principiu cosmologic", notează cu o evidentă satisfacţie că în această privinţă el se poate considera drept moştenitorul lui

care ascultă de o astfel de lege de distribuţie va fi numită „echivalenţă omogenă" sau, şi mai bine, *substratum*, ceea ce înseamnă că un astfel de ansamblu va fi suficient pentru a forma cadrul fundamental de referinţă al unei dinamici deductive. Într-un anumit sens, numărîndu-se, *ego*-urile echivalenţei capătă un fel de consistenţă fizică. În cazul scării τ, este suficient să spunem că distribuţia monadelor trebuie să fie omogenă în sensul obişnuit al cuvîntului. Avem în vedere forma metrică a acestui spaţiu, care este independentă de observatorul care o determină dar în care figurează (ca dealtfel în toate formulele construite în scara τ) parametrul t_0, a cărui semnificaţie va fi precizată în cele ce urmează.

În schimb, în scara t nu există spaţiu „comun" şi se impune aplicarea directă a principiului cosmologic. Fidel metodei sale de a începe cu elementele cinematice, Milne obţine mai întîi, prin aplicarea legii relativiste de compunere a vitezelor, valabilă şi în R.C., o funcţie de distribuţie a vitezelor, apoi chiar o funcţie de distribuţie pentru observatori. Aceste funcţii sînt determinate pînă la o constantă arbitrară. Cea de-a doua satisface ecuaţia de continuitate din hidrodinamică şi ambele sînt în mod natural invariante la transformarea Lorentz [1].

Echivalenţa omogenă devine astfel un *substratum*, iar observatorii devin *observatori-particule* fundamentale. În acest fel, Milne consideră că a făcut destul pentru a transforma mulţimea *ego*-urilor într-un model de univers şi ceea ce era necesar pentru a trece de la cinematică la dinamică şi pentru a înlocui acele ştiinţe încă empirice şi în consecinţă încă imperfecte, mecanica lui Newton şi cea a lui Einstein, printr-o ştiinţă cu adevărat deductivă. Dar, înainte de a face acest mare pas, matematicianul demiurg se opreşte pentru a-şi contempla opera şi pentru a-i scoate în evidenţă toate punctele de atracţie, căci *substratum*-ul, atunci cînd este descris în scara t, este dotat într-adevăr cu proprietăţi atît de remarcabile încît definirea sa pare să împrăştie toţi norii care întunecaseră imaginea Universului din momentul în care spiritul renaşterii spulberase reprezentarea elenică.

Substratum-ul are simetrie sferică în jurul oricărui observator; el este centrat fără a fi totuşi antropocentric. După o formulă

Giordano Bruno. El citează un text englez din 1610 în care se face aluzie la motivele „pentru care Kepler se străduieşte să răstoarne concepţiile lui Nolan şi ale lui Gilbert şi în special acea concepţie a lui Nolan conform căreia, dacă ochiul ar fi aşezat în oricare loc din Univers, acesta i s-ar înfăţişa absolut la fel cum ne apare nouă". Citat în *Modern Cosmology,...op. cit.*, p. 72. Lui Milne îi plăcea să se considere, în ştiinţă, un eretic...

[1] *Kinematic Relativity, op. cit.*, pp. 51—53, pp. 53—55; Anexa, IX, ec. (11, 112).

celebră, centrul său este pretutindeni şi circumferinţa sa nicăieri. Pentru a-l descrie, trebuie să alegem un observator care să facă parte din el, cu toate că această alegere este lipsită de importanţă. Pentru un asemenea observator, O, *substratum*-ul ocupă în momentul t interiorul unei sfere în expansiune, de rază $r = ct$; numai interiorul însă, pentru că mulţimea particulelor *substratum*-ului este o mulţime deschisă, care — tot din punctul de vedere al lui O — se apropie oricît de mult de frontiera ct, dar nu o atinge. Nici pe frontieră, nici în afara ei nu există nimic şi din exterior *substratum*-ul nu se poate vedea; trebuie să fii acolo pentru a-l cunoaşte. Dacă observatorul O se deplasează, el va rămîne întotdeauna în centru, pentru că înfăţişarea *substratum*-ului este aceeaşi pentru orice observator fundamental. În raport cu O, fiecare particulă a *substratum*-ului este animată de o viteză de îndepărtare rectilinie şi uniformă, proporţională cu distanţa sa. *Substratum*-ul se află în expansiune şi viteza de îndepărtare a particulelor se poate apropia oricît de mult de viteza c a luminii.

Pe de altă parte, densitatea particulelor, măsurată de către O, nu este uniform distribuită în interiorul sferei (omogeneitatea cosmosului este intersubiectivă, ea nu apare în reprezentarea unui singur observator). Măsurată de către O, această densitate creşte de la centru la periferie şi tinde spre infinit pe măsură ce privirea observatorului se apropie de frontieră: el vede pe scurt Universul îndesindu-se infinit şi suprafaţa sferei al cărei centru îl ocupă îi apare ca o singularitate, în sensul matematic al cuvîntului. Natural, este vorba de un fel de efect de orizont, pentru că înfăţişarea este aceeaşi pentru toţi observatorii. Totuşi, singularitatea de frontieră nu este o simplă iluzie; ea este, dimpotrivă, „adevărată" şi plină de sens, pentru că reproduce în prezentul fiecărei monade singularitatea iniţială a Universului, adică creaţia, care în ceea ce o priveşte nu are nimic iluzoriu.

Într-adevăr, aşa cum am văzut, în scara t există o origine naturală a timpului şi descrierea *substratum*-ului în această scară implică faptul că toate particulele au fost reunite, în vecinătatea timpului $t = 0$, într-un volum arbitrar de mic [1]. Acest moment iniţial inaccesibil, acest zero al timpului, această singularitate de

---

[1] Aceasta este imaginea, care, atunci cînd medita la expansiunea galaxiilor i s-a impus lui Milne ca un fel de iluminare; să presupunem, spune el la un moment dat, un ansamblu de particule reunite într-o sferă şi animate de viteze oarecare, dar constante; dacă particulele, după un timp foarte îndelungat, pot să se disperseze, ele se vor distribui în spaţiu după legea lui Hubble. E. A. MILNE, *World Structure and the Expansion of the Univers*, Nature, 130, 1932.

care ne putem apropia cu gîndul oricît de mult fără a o putea atinge vreodată, este creaţia. Dacă *momentul* creaţiei este bine definit, ca o limită — în acelaşi mod ca zero-ul temperaturii în scara termodinamică — nu acelaşi lucru se poate spune despre *locul* creaţiei. Într-adevăr, fiecare observator localizează creaţia în punctul în care se află el şi deoarece nu există un spaţiu comun, este îndreptăţit să o facă ; dacă deci creaţia a avut loc într-*un* punct, ea nu a avut loc în punctul *acesta* sau *acela*, ceea ce dealtfel ar fi inexplicabil după principiul raţiunii suficiente, adaugă Milne, care asociază descrierii sale matematice a *substratum*-ului subtile consideraţii teologice în stil leibnizian.

Deoarece efectul relativist de întîrziere a ceasurilor — care nu afectează caracterul absolut al zero-ului timpului — face ca fiecare observator să-i considere pe ceilalţi mai tineri decît el, şi cu atît mai tineri cu cît aceştia se deplasează mai repede, se vede de ce singularitatea spaţială de la suprafaţa sferei $r = ct$ reproduce singularitatea temporală din momentul iniţial : în privirea observatorului central, mulţimea infinit de densă care se îngrămădeşte în vecinătatea suprafeţei sferei conţine o infinitate de particule oricît de aproape vrem de creaţie ; aproape întreg Universul tocmai ia naştere... [1].

Cu toată înfăţişarea sa sferică, Universul milnean este deci *infinit*. Căci această sferă euclidiană este cu totul deosebită de hipersfera riemanniană în expansiune a lui Eddington şi Lemaître. Mai întîi, prima nu este decît înfăţişarea legată de alegerea unui anumit cadru metric, în timp ce a doua este „comună". Apoi, pentru că numai *interiorul* sferei milneene[2] este identificabil cu cosmosul — frontiera fiind inaccesibilă, în toate sensurile acestui cuvînt — Universul este, din punct de vedere topologic, o mulţime „deschisă", în timp ce sfera lui Einstein, chiar pusă în mişcare de către Lemaître, este o mulţime „închisă", chiar „compactă". Trecerea de la scara t la scara τ transformă dealtfel sfera milneană într-un spaţiu tridimensional infinit. Astfel, în timp ce modelele relativiste cu curbură spaţială pozitivă aveau caracterele geometrice cerute pentru a reprezenta ideea intuitivă de univers *finit*, lumea milneană poate fi numită fără echivoc *infinită*.

Milne acumulase dealtfel, în prima sa carte, probele — nematematice — în favoarea infinităţii Universului, încercînd, în mod invers, să respingă argumentele lui Eddington în favoarea posibi-

---

[1] *Kinematic Relativity*, *op. cit.*, § 54, pp. 55—56.

[2] În limbaj matematic, ar trebui să spunem dealtfel „bula" milneană şi „varietatea" einsteiniană.

lităţii existenţei unei lumi închise (el respingea în special analogia cu suprafaţa Pămîntului). Probele lui Milne sînt ingenioase şi în strictă conformitate cu viziunea sa fundamentală asupra lucrurilor : el se menţine în logica aparenţei şi se întreabă dacă un observator care ar călători indefinit în Univers ar putea ajunge vreodată la certitudinea că nu mai este nimic de văzut faţă de ceea ce a văzut deja. Milne trage o concluzie negativă, afirmînd în cele din urmă „că un Univers care ar conţine un număr finit de obiecte ar fi iraţional". Dar aceste argumente nu sînt perfect clare şi se simte aici părerea sa preconcepută că ipoteza după care spaţiul ar putea fi identificat în mod obiectiv cu o varietate de curbură pozitivă trebuie înlăturată aprioric [1].

Milne nu ne convinge deci de infinitatea spaţiului mai mult decît Eddington şi Lemaître de finitudinea sa. Ceva mai jos vom încerca să tragem cîteva concluzii din aceste eşecuri simetrice şi complementare.

III. Dinamica şi legile de mişcare

Odată *echivalenţa* constituită în *substratum* sau, dacă vrem (deşi Milne nu se exprimă niciodată în modul acesta), odată *ego*-urile transformate în particule şi considerate materiale, Milne presupune că aceste entităţi fundamentale, observatorii-particule, nu sînt singurele care pot să populeze modelul. El admite că se poate introduce în substratum o „particulă liberă", căreia nu trebuie neapărat să i se ataşeze un ceas congruent cu cel al observatorilor fundamentali, şi a cărei mişcare, raportată la unul sau la altul dintre aceşti observatori poate să fie o mişcare oarecare. Trecerea de la cinematică, adică de la descrierea mişcării, la dinamică, adică la rezolvarea problemei continuării mişcării, va putea fi încercată tocmai examinînd problema mişcării particulei libere în prezenţa *substratum*-ului. Aceasta deoarece exact aici se află pentru Milne frontiera, iar dinamica începe atunci cînd se pune întrebarea : fiind dată o mişcare la momentul t, care va fi mişcarea la momentul $t + dt$? Spre exemplu : îşi conservă *substratum*-ul în mod spontan proprietăţile cinematice prin intermediul cărora a fost descris?

Prima problemă fizică care trebuie rezolvată în construirea unei dinamici apriorice este deci definirea mişcării unei particule de probă libere, fără a împrumuta nimic din experienţa fizică şi

[1] *Relativity, Gravitation,..., op. cit.*, §§ 121–128, pp. 114–120.

bazîndu-ne numai pe proprietăţile cinematice ale *substratum*-ului. În felul acesta va fi evitată introducerea arbitrară a principiului inerţiei şi va fi satisfăcută condiţia lui Mach, după care conceptul de inerţie nu este acceptabil decît dacă inerţia unui corp este definită în raport cu ansamblul corpurilor existente în Univers. Milne caută mai întîi soluţia problemei în scara *t*, din motive care vor deveni mai clare ulterior. Din punct de vedere matematic, problema constă în a defini formal vectorul acceleraţie al particulei de probă ca o combinaţie de elemente cinematice care caracterizează poziţia şi mişcarea sa la un moment dat, un observator fundamental al *substratum*-ului fiind luat ca centru spaţial de referinţă şi ca cel care ţine socoteala timpului. Milne arată că alegerea este determinată — pînă la o funcţie arbitrară, notată cu $G(\xi)$[1] şi care depinde de un singur parametru ξ fără dimensiuni fizice şi legat de mişcarea la momentul considerat — dacă vectorul căutat îndeplineşte două condiţii formale: acesta trebuie să aibă dimensiunile fizice corespunzătoare (lungime +1, timp —2) şi trebuie să fie invariant la transformarea Lorentz aplicată pentru trecerea de la un observator fundamental la altul. Se obţine astfel o expresie simbolică a vectorului acceleraţie care poate fi considerată ca „lege de mişcare", convenind că semnul „egal" în ecuaţie nu exprimă o egalitate empirică între nişte mărimi măsurate, ci o definiţie [2].

Hotărîrea de a considera funcţia arbitrară *G* ca o funcţie de un singur parametru, ξ, este foarte importantă pentru că ea determină, în mare parte, deducţiile ulterioare asupra gravitaţiei. Dar valoarea ei este contestată de către Robertson [3] care nu este convins de „argumentul dimensional" pe care îl prezintă Milne şi după care, avînd în vedere faptul că unităţile fizice de bază trebuie să fie arbitrare, *G* nu poate să depindă de o variabilă care are dimensiuni fizice. După Robertson, *G* ar trebui să fie considerată ca funcţie de *două* variabile, ξ şi X. Numai o analiză detaliată ar permite să se pună suficient de bine în evidenţă argumentele fiecăruia. Subliniem această serioasă divergenţă pentru a ilustra dificultăţile căii deductive, în care poate să apară în orice moment necesitatea introducerii unor axiome suplimentare. În orice caz, Robertson şi-a menţinut poziţia, încredinţat o dată mai mult de superioritatea teoriei R.G. În ceea ce îl priveşte, Milne nu a ţinut

---

[1] Vezi Anexa, IX, ec. (113, 114).

[2] *Kinematic Relativity, op. cit.*, §§ 61—70, pp. 62—68; despre „argumentul dimensional", vezi 72, p. 68.

[3] H.P. ROBERTSON, Recenzia cărţii *Relativity, Gravitation and World Structure*, Astrophysical J., 83, 1936, pp. 61—66.

cont în nici un fel de această obiecţie, considerînd fără îndoială că ceea ce el numea în mod deliberat „strictul ortodoxism'' al lui Robertson îl făcea pe acest matematician inapt pentru a înţelege filozofia sa...

Definiţia acceleraţiei permite să se obţină imediat ceea ce poate fi considerat drept o confirmare indirectă a procedeului folosit: dacă în ecuaţia de mişcare se substituie coordonatele unei particule fundamentale, acceleraţia se anulează, adică *substratum*-ul conservă spontan starea de mişcare prin care au fost definite elementele sale. *Substratum*-ul, definit ca o entitate cinematică, se dovedeşte în acelaşi timp, în virtutea legii stabilite, o entitate dinamică. Dealtfel aceeaşi concluzie rezultă şi din consideraţii pur logice: deoarece fiecare particulă-observator este centru de simetrie în *substratum*, ea nu poate avea tendinţa de a se mişca într-o direcţie mai curînd decît în alta; în sistemul său propriu de referinţă, ea va rămîne deci imobilă (vedem apărînd aici predilecţia lui Milne pentru principiul raţiunii suficiente).

Dar, pentru a determina complet ecuaţia de mişcare, trebuie să specificăm funcţia arbitrară $G(\xi)$ care apare în definiţia sa (pentru definiţia lui ξ, variabilă cinematică caracteristică pentru particula de probă la un moment dat (vezi Anexa, IX, ec. 113)). Metoda folosită pînă acum nu mai este însă suficientă şi Milne nu depăşeşte această dificultate decît printr-un ocol a cărui semnificaţie ni se pare mult mai profundă decît cea a unui simplu artificiu de calcul. Dar, pentru a urma ordinea adoptată de Milne în expunerea cea mai completă şi cea mai sistematică a teoriei sale, lăsăm pentru moment la o parte determinarea lui $G(\xi)$ şi admitem că, în ecuaţia de mişcare a particulei de probă în prezenţa *substratum*-ului, funcţia ia forma

$$G(\xi) \equiv -1.$$

În acest fel, sînt adunate toate elementele care îi permit lui Milne să construiască un sistem de concepte şi de propoziţii care au anumite analogii, fie cu cele ale dinamicii clasice, fie cu cele ale dinamicii relativiste. În felul acesta, pînă la o constantă arbitrară şi remarcînd că

$$\xi^{1/2} = \text{constant}$$

este o integrală a mişcării pentru particula liberă, se poate defini masa inerţială a particulei, care nu se supune exact nici legii de transformare din teoria relativităţii restrînse, nici legii de conser-

10 – c. 1666

vare din mecanica clasică (Anexa, IX, ec. 117). Pe de o parte, într-adevăr, masa unei particule depinde de viteza sa relativă față de un observator fundamental care îi măsoară mişcarea şi ecuaţia obţinută este identică cu cea a lui Einstein; dar, pe de altă parte, această masă este invariantă dacă se trece de la un observator fundamental la altul. Pe de altă parte, toate particulele fundamentale au aceeaşi masă în toate sistemele de referinţă fundamentale, ceea ce ar fi imposibil în teoria relativităţii restrînse. Această diferenţă este foarte importantă dacă va fi regăsită în relaţiile în care apare energia; ea este legată de existenţa *substratum*-ului în teoria lui Milne, a cărui prezenţă permite să se evite alegerea necesară, dar arbitrară, a *unui* sistem inerţial în teoria relativităţii restrînse (ceea ce permite apoi definirea unei infinităţi de sisteme).

În sfîrşit, plecînd de la definiţiile sale, Milne exprimă legea de mişcare în formă variaţională.

Legea de mişcare în forma diferenţială, obţinută în scara t, seamănă destul de puţin cu expresia clasică a principiului inerţiei. De aici începe să se vadă că timpul care figurează în ecuaţiile dinamicii clasice nu corespunde scării t, ci scării τ din relativitatea cinematică. Milne arată, într-adevăr, limitîndu-se mai întîi la calcule aproximative (viteze mici în raport cu c, distanţe mici în raport cu ct), că ecuaţiile dinamicii construite de el, transformate în scara τ, coincid cu formula clasică a acceleraţiei nule pentru particula liberă. Dinamica din scara τ se deosebeşte totuşi de dinamica clasică prin aceea că, în teoria newtoniană, spaţiul comun este euclidian şi, în consecinţă, traiectoria particulei este o dreaptă, în timp ce în scara τ a relativităţii cinematice, spaţiul comun este hiperbolic şi traiectoria particulei libere este o geodezică a acestui spaţiu (ca în modelele cosmologice rezultate din relativitatea generalizată).

Urmează apoi definirea forţei, a lucrului mecanic, a energiei, a potenţialului, toate în scara t.

Forţa este definită prin diferenţa între mişcarea efectivă a particulei de probă şi mişcarea particulei libere care are aceeaşi definiţie cinematică la momentul considerat. Energia este lucrul mecanic al forţei, mişcarea care intră în evaluarea acestui lucru mecanic fiind măsurată în raport cu mediul înconjurător din apropierea particulei de probă.

Milne regăseşte astfel relaţia lui Einstein dintre masă şi energie dar, din motivele indicate mai sus, această relaţie nu are acelaşi sens în relativitatea cinematică şi în relativitatea restrînsă: în relativitatea cinematică, energia este un scalar, pe cînd în mecanic

lui Einstein, ea este a patra componentă a unui cvadrivector. Rezultă că ea este invariantă pentru toţi observatorii fundamentali. La fel ca şi masa, energia tuturor particulelor fundamentale este identică ; este totuna cu a spune că mişcarea lor de îndepărtare reciprocă nu implică nici o acumulare de energie cinetică. După Milne, acest rezultat este foarte satisfăcător atunci cînd se aplică teoria la problema expansiunii galaxiilor.

Milne încearcă în sfîrşit să introducă o funcţie de potenţial, al cărui gradient (cu semn schimbat) să fie forţa, în analogie cu formulele clasice, ceea ce ar permite exprimarea, într-o formă de asemenea clasică, a principiului conservării energiei mecanice. Deşi această transpunere directă nu este practicabilă, analogia poate fi totuşi conservată printr-un artificiu matematic.

Transformarea noilor relaţii în scara τ, tot aproximativă, permite regăsirea ecuaţiei fundamentale a dinamicii şi a relaţiei clasice dintre lucrul mecanic şi variaţia energiei cinetice. În sfîrşit, examinarea în cele două scări a formulelor în care intervine momentul cinetic duce la un rezultat pe care Milne îl consideră foarte important pentru cosmologie. Într-adevăr, dacă în scara τ existenţa unei forţe centrale implică, ca şi în mecanica clasică, constanţa momentului cinetic faţă de origine, nu acelaşi lucru se întîmplă în scara t; din ecuaţiile lui Milne rezultă într-adevăr că, în cazul existenţei unei forţe centrale, momentul cinetic în raport cu originea creşte proporţional cu timpul. Totul se petrece ca şi cum *substratum*-ul în ansamblul său ar exercita asupra vecinătăţii oricărei particule fundamentale o acţiune comparabilă cu cea a unui cuplu [1].

Or prezenţa mişcărilor de rotaţie în Univers este un fapt foarte obişnuit. Acesta este chiar un aspect al fizionomiei Cosmosului mult mai evident pentru noi decît izotropia distribuţiei materiei în spaţiu şi decît expansiunea galaxiilor; el este totuşi un aspect cu totul diferit de celelalte, aproape contrar lor. Acest fapt, însă, se explică perfect, după Milne, prin rezultatul pe care tocmai l-am menţionat. Acesta este tocmai unul din punctele de superioritate ale relativităţii cinematice faţă de celelalte teorii : numai ea este capabilă să împace într-o aceeaşi sinteză teoretică cele două aspecte contrastante pe care ni le prezintă Universul : aspectul său planetar, cu un centru şi cu rotaţii în jurul acestui centru, şi aspectul său extragalactic, cu absenţa oricărui punct central şi predominanţa mişcărilor rectilinii de recesiune[2] (Anexa, IX, ec. 124).

---

[1] *Kinematic Relativity, op. cit.*, §§ 98–99, pp. 92–94.

[2] Vezi mai ales E.A. MILNE, *Kinematic Relativity*, în *Problèmes de Philosophie des Sciences*, Symposium de Bruxelles, 1947, Hermann, Paris, Actualités Scientifiques, *1065*.

Edificarea dinamicii se încheie prin punerea ecuaţiilor în formă lagrangeană, în scara t. Această transformare, conformă tradiţiei mecanicii raţionale, permite să se regăsească elegant integralele energiei. Ea este necesară mai ales pentru efectuarea transformării complete şi exacte din scara t în scara τ, în timp ce pînă acum Milne se mărginise la soluţii parţiale şi aproximative : îndeplinirea programului cere o desfăşurare destul de impresionantă de calcule, iar cititorul vede cu surprindere apărînd încetul cu încetul, dintr-un ocean de simboluri, o relaţie simplă şi destul de familiară, care se reduce la expresia lagrangeană clasică în cazul în care există un potenţial şi se au în vedere viteze mici în raport cu cea a luminii. Este totuşi imposibil să se obţină un principiu variaţional general, comparabil cu principiul minimei acţiuni[1].

Este acum momentul să explicităm complet semnificaţia fizică şi epistemologică a trecerii din scara t în scara τ. Dacă ne reîntoarcem la punctul de plecare, ne amintim că definiţia funcţiei ψ, generatoare a echivalenţei în starea de repaus relativ (cea care corespunde scării τ), implică introducerea unui parametru t_0 avînd dimensiunile fizice ale timpului. Dacă însă membrii echivalenţei în mişcare relativă uniformă (timpul t) îşi reetalonează ceasurile în aşa fel încît să apară unul faţă de celălalt în repaus relativ (timpul τ), parametrul t_0 va apare în mod necesar în funcţia de reetalonare a ceasurilor şi va căpăta o semnificaţie intuitivă foarte evidentă : el va trebui ales în aşa fel încît la timpul $t = t_0$, să avem şi $t = \tau$. Prezenţa parametrului t_0 în însăşi definiţia scării τ are deci semnificaţia că nu ne putem plasa în scara τ fără a ne referi la ceea ce, pentru un observator care foloseşte scara t, apare ca „vîrsta" Universului, intervalul de timp care îl separă de singularitatea iniţială, de creaţie. Parametrul t_0 figurează însă în toate ecuaţiile *exacte* ale dinamicii, în scara τ, mai ales pentru că acest parametru figurează în metrica ce caracterizează spaţiul hiperbolic comun şi nu se elimină decît în formele locale, deci euclidiene, care pot fi date acestor ecuaţii. Tocmai prezenţa acestui parametru t_0 în ecuaţiile din scara τ ne obligă, de fapt, să construim dinamica în scara t, deşi aici ecuaţiile au o formă mult mai neobişnuită. Căci dacă am dori să construim dinamica în scara τ, nu am avea nici un motiv să presupunem că spaţiul nu este euclidian ; prezenţa parametrului t_0 ar fi deci ignorată, sau acesta ar trebui introdus într-un mod cu totul arbitrar. Prin urmare, numai scara t permite construirea unei dinamici „fără constantă" şi în întregime apriorică[2].

---

[1] *Kinematic Relativity*, *op. cit.*, §§ 101—106, pp. 95—107.

[2] *Ibid.*, §§ 119 şi 121, pp. 109—111.

Dincolo de aceste argumente tehnice, vedem apărînd preferința metafizică a autorului pentru scara t, preferință asupra căreia vom reveni în comentariul nostru.

Pe de altă parte, particularitățile scării τ îi permit lui Milne să precizeze mai bine prin ce se deosebește teoria sa de teoria relativității restrînse. Transformarea Lorentz se aplică observatorilor fundamentali ai echivalenței t și nu unui set de două particule oarecare în mișcare relativă în scara τ; dacă în Universul real identificăm, așa cum o face în general Milne, nucleele galaxiilor cu observatorii fundamentali din relativitatea cinematică, nu ne putem aștepta ca transformarea de coordonate între două particule oarecare aflate în mișcare relativă să ia întotdeauna forma transformării Lorentz, chiar dacă această mișcare este rectilinie și uniformă.

Toate deducțiile precedente se bazează pe ipoteza că, în ecuația de mișcare a unei particule libere în prezența *substratum*-ului funcția neprecizată $G(\xi)$ este corect specificată în forma

$$G(\xi) \equiv -1.$$

Milne nu a demonstrat încă acest lucru; or, rezultat neprevăzut, această demonstrație va deschide drumul și pentru rezolvarea unei alte probleme capitale, cea a gravitației, iar deducerea legii lui Newton va apare de la sine din raționamentele prin care va putea fi determinată funcția $G(\xi)$. Acesta va fi, spune Milne, „marele moment” din dezvoltarea teoriei și în acest punct situația va fi, spune el în continuare, «*provocatively exciting*», expresie pe care, ne cerem scuze, nu știm cum să o traducem[1].

Fidel în această privință unei idei de bază a lui Einstein și tot atît de preocupat ca acesta de a pune capăt unei dezbateri la fel de vechi ca și mecanica, Milne refuză să considere gravitația ca un fapt brut, contingent în raport cu structura geometrică și cinematică a Universului. Faimoasa expresie *hypotheses non fingo* a lui Newton este inacceptabilă în filozofia sa a naturii, din motive pe care le vom preciza în cele ce urmează. Trebuie deci ca, într-un mod sau altul, cu eventualele corecții necesare, legea gravitației să reiasă din conceptele teoriei, așa cum legea de mișcare a rezultat din definiția cinematică a echivalenței.

Dealtfel, chiar din momentul stabilirii formulelor pentru accelerație se schițează o tentativă de deducție: Milne observă că în scara t, pentru o particulă de probă liberă, nefundamen-

---

[1] E. A. MILNE, *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, *op. cit.*, p. 84.

tală, accelerația poate fi considerată aproximativ ca efectul gravitației exercitate asupra particulei de probă de sfera al cărei centru este particula fundamentală, care are aceeași viteză cu particula de probă (în raport cu observatorul din origine) și a cărei rază este egală cu distanța dintre cele două particule. Ecuația aproximativă obținută aplicînd formula referitoare la densitatea *substratum*-ului este tocmai legea newtoniană a dependenței forței de inversul pătratului distanței. Apare însă o diferență capitală: ,,constanta'' gravitației nu mai este o constantă; ea este proporțională cu timpul t și trebuie s-o considerăm deci ca infinit mică în vecinătatea creației. Vom vedea importanța pe care Milne o acordă acestui fapt, care are îndeosebi avantajul că suprimă neverosimilitatea unei stări de concentrare hiperdensă, care, în cazul în care constanta gravitației este într-adevăr constantă, pare să interzică declanșarea procesului de expansiune. Pe de altă parte, relația care dă pseudoconstanta gravitației în funcție de elementele *substratum*-ului conține un factor M_0, constant, care este o cvasimasă a Universului, obținută prin extinderea la sfera $r = ct$, a densității din vecinătatea originii, și a cărei evaluare numerică conduce, notează Milne, la o valoare de același ordin de mărime cu masa modelelor ,,închise'' din cosmologia relativistă [1].

În felul acesta sîntem în posesia elementelor esențiale ale teoriei gravitației, dar, în această etapă, deducerea acesteia nu este decît schițată: pe de o parte nu este vorba decît de formule aproximative, iar pe de alta, ipoteza asupra valorii lui $G(\xi)$ nu este încă justificată.

Așa cum am arătat, această justificare îl obligă pe Milne să abandoneze traseul riguros liniar de pînă acum al deducției sale și să facă un ocol a cărui legitimitate epistemologică este discutabilă. Mai precis, acest ocol constă în a regăsi conceptul de *substratum* pe o altă cale decît cea prin care s-a ajuns inițial la el. Acest concept, după cum ne amintim, a fost obținut sintetic prin adăugarea unei ipoteze de numărare, deci legată de densitate, la echivalență, multiplicitate într-o oarecare măsură intersubiectivă, fără o adevărată materialitate. Însă *substratum*-ul va fi definit acum ca un caz particular, chiar excepțional, de multiplicități mai generale — sistemele statistice de *particule*. Structura matematică a *substratum*-ului va putea fi deci complet determinată dacă, și numai dacă, îl situăm la intersecția a două drumuri deductive, unul, cel principal, plecînd de la conștiința individuală a succesiunii și ajungînd la legile dinamicii, iar celălalt, auxiliar dar indispensabil, constînd din speci-

[1] *Kinematic Relativity*, *op. cit.*, § 80, pp. 76–79.

ficarea proprietăţilor *substratum*-ului plecînd de la descrierea multiplicităţilor, ale căror elemente sînt numai măsurabile, fără a efectua ele însele măsurători. Pentru ca descrierea matematică a acestor multiplicităţi să fie posibilă, trebuie ca ele să poată fi distribuite în spaţiu şi în timp, ceea ce presupune constituit cadrul metric, echivalenţa, dar nu şi cadrul fizic, *substratum*-ul. Se introduce astfel în teorie un anumit dualism, care este o concesie făcută materialităţii Universului, concesie impusă nu de evidenţa sensibilă, ci de acest reziduu al construcţiei matematice, funcţia neprecizată $G(\xi)$. Din punct de vedere fizic, diferenţa dintre multiplicitatea oarecare — sistemul statistic — şi multiplicitatea metrică — *substratum*-ul — este asemănătoare celei care separă gazul de lichid, adică un grad de dezordine şi de nedeterminare de altul mai mic. Este interesant să notăm că, într-o fizică pe care am putea să o numim idealistă avînd în vedere fundamentele sale, concesia făcută materialităţii ia forma unei concesii făcute dezordinii...

Îndeplinirea matematică a programului fixat, specificarea *substratum*-ului în contrast cu sistemele statistice mai generale, este în esenţă următoarea : se pleacă de la ecuaţia lui Boltzmann din dinamica gazelor, care determină distribuţia statistică a poziţiilor şi vitezelor pentru un cîmp dat de forţe, deci de acceleraţie (este necesar şi suficient ca funcţia să se conserve de la t la $t + \Delta t$) (Anexa, IX, ec. 128). Milne foloseşte însă această relaţie în sens invers celui obişnuit. El determină mai întîi funcţia de distribuţie, făcînd-o invariantă pentru toţi observatorii fundamentali. Această determinare antrenează introducerea unei noi funcţii arbitrare, $\psi(\xi)$, care depinde de aceeaşi variabilă pe care o cunoaştem deja. Apoi el introduce în ecuaţia lui Boltzmann, ca valoare a acceleraţiei, pe cea care rezultă din legea generală de mişcare (deci o expresie care conţine funcţia $G(\xi)$). Ecuaţia obţinută în acest fel conţine deci cele două funcţii arbitrare de ξ, G şi ψ. Supus o dată mai mult exigenţelor epistemologiei, calculul nu păstrează, ca urmare a unei minunate simplificări, decît o relaţie diferenţială de ordinul întîi, foarte simplă, între ξ, singura variabilă „care supravieţuieşte”, G, ψ şi derivatele lor în raport cu ξ. Integrînd-o, se obţine o relaţie între $G(\xi)$, funcţie neprecizată care figurează în legea de mişcare, şi $\psi(\xi)$, funcţie neprecizată a distribuţiei statistice. Pentru a urmări raţionamentul lui Milne este neapărat necesar să scriem această relaţie. Se obţine

$$G(\xi) = -1 - \frac{C}{(\xi - 1)^{3/2}\psi(\xi)},$$

unde C este o constantă de integrare arbitrară.

Înlocuind în ecuaţia de mişcare această expresie a lui $G(\xi)$, se vor obţine două componente distincte ale acceleraţiei particulei libere. Cea dintîi, care corespunde factorului -1, este independentă de ψ, deci de distribuţia statistică; cea de-a doua, corespunzînd factorului

$$-C\frac{1}{(\xi-1)^{3/2}\psi(\xi)},$$

depinde, dimpotrivă, de aceasta. Se poate deci presupune în cazul general că un sistem oarecare, atunci cînd acţionează prin prezenţa sa asupra particulei de probă, este o suprapunere a unui sistem nestatistic, hidrodinamic, reprezentat de factorul -1, cu un sistem statistic reprezentat de cel de-al doilea factor. Or ştim că *substratum*-ul, a cărui distribuţie ascultă de ecuaţia de continuitate, este un sistem hidrodinamic şi nestatistic. Este deci rezonabil să se admită că factorul -1 corespunde *substratum*-ului şi să se pună

$$G(\xi) \equiv -1$$

în ecuaţia de mişcare a particulei libere în prezenţa *substratum*-ului[1].

Legea newtoniană a gravitaţiei va apare mai apoi din analiza celei de-a doua părţi — partea de origine statistică — a funcţiei $G(\xi)$. Într-adevăr, atunci cînd se examinează ce devine această parte în cazul unei particule libere puţin îndepărtată de origine şi avînd o viteză mică faţă de c, se observă — ceea ce nimic nu făcea să se prevadă — că aceasta ia de la sine forma newtoniană. În acest caz, partea corespunzătoare a vectorului acceleraţie poate fi identificată cu rezultatul unei atracţii newtoniene exercitată asupra particulei de către o condensare de materie situată în „centrul aparent al sistemului", adică în punctul pe care îl ocupă observatorul fundamental faţă de care particula liberă este în repaus. Reintroducînd în formulă valoarea „constantei" gravitaţiei, aşa cum rezultă ea din consideraţiile anterioare asupra cvasimasei Universului, se obţine o definiţie a masei gravitaţionale a condensării[2].

În legătură cu forma funcţiei $G(\xi)$, se impune o observaţie: atunci cînd constanta C nu este nulă, adică dacă nu este vorba de un

---

[1] *Kinematic Relativity*, *op. cit.*, §§ 140—147, pp. 127—134.

[2] *Ibid.*, pp. 148—151, pp. 134—136; vezi Anexa, IX, ec. 134.

substratum pur, orice observator fundamental devine o singularitate. Aceasta creează o anumită dificultate în identificarea modelului milnean cu Universul fizic. Această identificare se bazează pe dubla ipoteză 1) că materia din Univers nu formează un *substratum* pur și 2) că particulele fundamentale ale *substratum*-ului pot fi identificate cu centrele galaxiilor. Ar trebui deci ca aceste centre să fie puncte de densitate infinită. Aceasta este o dificultate serioasă pentru cosmologia cinematică. Milne este de acord, recunoscînd că identificarea Universului cu un *substratum* ar subestima caracterul discontinuu al galaxiilor, dar că, invers, asimilarea galaxiilor cu niște „sisteme statistice" supraestimează această discontinuitate [1].

Cu toate acestea, deducerea oarecum spontană a legii variației forței cu inversul pătratului distanței reprezenta pentru Milne o confirmare strălucită a valorii metodei sale, căci, dacă nu mai luăm gravitația ca pe un fapt, ci o considerăm ca o relație necesară între materie și mișcare, devine normal să vedem apărînd această formulă din compararea a două funcții, dintre care una figurează în legea de mișcare, iar cealaltă în legea de distribuție a materiei.

Pe de altă parte, Milne pretindea că depășește în felul acesta un obstacol care, după părerea lui, compromisese viitorul teoriei relativității : neputînd să găsească o lege a gravitației care, rămînînd newtoniană, să fie invariantă la transformarea Lorentz, Einstein și elevii săi ar fi părăsit, pe nedrept, metodele incontestabile ale teoriei relativității restrînse, angajîndu-se în cele mult mai puțin sigure ale R.G.

Totuși, pentru a ajunge la o expresie precisă a legii gravitației, nu sînt suficiente cele spuse mai sus, care nu reprezintă în ultimă instanță decît o analogie. Într-adevăr, considerațiile precedente permit să se considere partea statistică a vectorului accelerație ca exprimînd acțiunea unei condensări de materie, situată în centrul aparent al sistemului. Acest centru aparent nu este însă definit decît instantaneu, pentru că poziția sa depinde de viteza particulei de probă, care este variabilă. Prin procedee asupra cărora nu ne putem opri, Milne reușește să obțină formule generale și exacte, relativ simple, pentru *potențialul* gravitațional, nu însă în aceeași măsură și pentru *cîmp*, căci relația dintre aceste două mărimi fizice nu are, în relativitatea cinematică, forma simplă cunoscută în fizica clasică. Din analiza lui Milne reiese

---

[1] „Aceasta este o imperfecțiune a modelului... Nu am reușit să formulez matematic un model de univers intermediar între sistemele statistice și *substratum*..." (*Modern Cosmology...*, *op. cit.*, p. 103).

în plus că „constanta" newtoniană a gravitației este proporțională cu timpul [1].

Vom lăsa deoparte, ca străină scopurilor noastre, electrodinamica lui Milne, pentru a ajunge la analiza celui mai important dintre fenomenele cosmice observate : decalajul spectral al radiației galaxiilor.

IV. Deducerea deplasării spre roșu a nebuloaselor

Se vede clar că la baza construcției cosmologice a lui Milne se află intenția de a da o interpretare cinematică simplă și directă deplasării spre roșu a spectrului nebuloaselor printr-un efect Doppler clasic. Tocmai acestei interpretări îi corespunde *imaginea* inițială — roiul de particule animate de viteze constante și oarecare, a cărui dispersare conduce în final la o separare a vitezelor conform legii lui Hubble. Într-un stadiu mai detaliat al teoriei, este evident că scara t a echivalenței este forma metrică cea mai potrivită pentru a face ca deplasarea spre roșu să apară ca un fenomen cinematic.

Paradoxal însă, în R.C. deducerea deplasării spre roșu este destul de laborioasă, astfel încît Milne a trebuit să reia această problemă de două ori, iar moartea nu i-a permis să refacă așa cum ar fi dorit capitolul VIII al cărții sale *Kinematic Relativity*, în care este expusă dinamica luminii. Dificultatea provine din dualitatea scărilor de timp — și numai de aici — și acesta este motivul pentru care ea nu s-a ivit decît tîrziu. Într-adevăr, în scara t, adevărata scară cinematică, deducerea este simplă.

În schimb, în scara τ, particulele *substratum*-ului, adică centrele galaxiilor, rămîn în repaus relativ și explicarea cinematică a deplasării spre roșu este imposibilă. Or, cum știința „obișnuită" amestecă cele două scări — ceea ce nu creează dificultăți pentru fenomenele locale — trebuie să admitem că decalajul spectral al galaxiilor este observabil în ambele scări. Este deci necesar să se dea și în scara τ un fel de explicație; Milne suferă aici consecințele reducerii epistemologice pe care a vrut s-o exercite asupra fizicii curente.

În privința acestui punct important, poziția sa nu a fost însă constantă. Ea apare în ultimul său stadiu în capitolul IX din *Modern Cosmology*..., singurul capitol al acestei lucrări în

[1] *Kinematic Relativity, op. cit.*, cap. X—XI, pp. 137—155.

care dezvoltarea capătă o formă oarecum matematică. Se poate crede că Milne, știindu-și zilele numărate, a dorit să se folosească de ocazia pregătirii *Lecțiilor* ținute la Universitatea din Birmingham pentru a pune la punct cu suficientă precizie noile sale idei asupra unei părți esențiale a teoriei sale.

Vom începe deci cu această a doua versiune. Raționamentul este delicat, în parte pentru că Milne este în fond destul de grijuliu să se pună de acord cu „ortodoxismul" și pentru că inserarea ideilor tradiționale în teoria sa este dificilă. Milne pleacă de la formula clasică a lui Bohr, care dă legătura dintre energia fotonului de origine intraatomică, frecvența sa și constanta lui Planck. Este bine poate să enumerăm diferitele mărimi cărora poate să li se aplice această formulă în analiza problemei; acestea sînt:

a) constanta lui Planck h;

b) energia emisă sau absorbită în timpul unei tranziții cuantice determinate, de către un atom definit, această energie fiind măsurată de un observator legat de atom;

c) energia transportată de un foton în timpul propagării sale în spațiu;

d) frecvența de emisie sau de absorbție a fotonului, în condițiile definite la punctul *b*; aceasta se măsoară în spectrul de referință, în care fotonului îi corespunde o linie spectrală definită;

e) frecvența fotonului în timpul transferului său.

Milne nu presupune că energia fotonului, definită fie ca în cazul *b*, fie ca în cazul *c*, are aceleași proprietăți de invarianță pe care le are, în relativitatea cinematică, energia particulei libere din dinamică. Această energie este considerată doar ca invariantă în timp (*time-invariant*), adică se consideră că ea este, în raport cu un observator legat de atom, identică în toate scările de timp.

În schimb, nu este exclus ca energia definită ca la punctul *c* să dea rezultate diferite cînd se fac măsurători la emisie și la recepție. În ceea ce privește „constanta", h, ea trebuie să fie considerată ca un moment cinetic, deci ca o mărime care crește proporțional cu timpul t. În scara τ, dimpotrivă, *parametrul* t_0 *fiind fixat*, constanta lui Planck este efectiv o constantă.

Acestea fiind spuse, *în scara* t variația seculară a lui h antrenează o variație a frecvențelor de la *d* și *e* fără nici o consecință observabilă, spectrul de referință al receptorului suferind un decalaj identic cu cel al fotonului călător. Un decalaj observabil se produce totuși, datorită mișcării de recesiune a observatorilor fundamentali ai *substratum*-ului; valoarea decalajului poate fi calculată cu ajutorul relațiilor pur cinematice și se dovedește în final identică cu cea datorată efectului Doppler clasic. În ace-

laşi timp, în sistemul de măsură al receptorului, fotonul călător suferă o pierdere aparentă de energie, identică cu cea care îi afectează frecvenţa.

Lucrurile se petrec diferit în *scara* τ, iar analiza face să apară clar caracterul artificial al acestei scări şi imposibilitatea de a duce pînă la capăt un raţionament de amploare cosmică, uitînd că timpul „adevărat" este timpul t.

Să remarcăm că, la trecerea dintr-o scară în alta, ţinînd cont de definiţia clasică a frecvenţei, produsul $n\ \Delta t$, unde n este numărul de fotoni emişi sau primiţi în intervalul Δt, trebuie să fie invariantă în timp. Pe de altă parte, dacă h este constant atunci şi frecvenţele sînt constante. În sfîrşit, deoarece *substratum*-ul este în repaus, nu există nici un efect Doppler. În aceste condiţii, se pune întrebarea cum se poate totuşi observa un decalaj spectral la primirea fotonului? Un astfel de decalaj se observă pentru că schimbarea de scară de la t la τ *nu se poate efectua o dată pentru totdeauna:* parametrul t_0 care figurează în formula schimbării de variabilă are două valori diferite la recepţie şi la emisie; trebuie deci ca transformarea de la t la τ să fie aplicată de două ori şi de aici rezultă o corecţie pentru frecvenţă şi pentru energie egală cu cea care se observă în scara t.

Trebuie să spunem că în această privinţă Milne nu se dovedeşte prea convingător. Slăbiciunea argumentaţiei provine din faptul că scara τ fiind o scară instantanee la ordinul de mărime cosmic, descrierea în această scară a unor fenomene de amploare foarte mare este foarte dificilă fără introducerea unor artificii. Milne recunoaşte: „Nu cred că vom putea obţine o înţelegere convenabilă a deplasării spre roşu, dacă ne mărginim la considerarea scării τ. Cu toate că la baza opticii obişnuite se află această scară, ea nu poate face inteligibil decalajul spectral [1]".

În prima sa formă, raţionamentul făcea o impresie mai bună pentru că, făcînd mai puţine concesii ideilor clasice, era mai strîns legat de restul teoriei. Întreaga deducţie era bazată pe principiul că fotonul trebuie să fie tratat ca un caz limită al particulei libere din dinamică. Formulele dinamicii fotonului erau deduse din cele ale dinamicii generale printr-o dublă trecere la limită (masa tinzînd spre zero şi viteza spre c); aceasta permitea ca noţiunea de frecvenţă să fie introdusă în teorie fără a o împrumuta din altă parte. Pe de altă parte, legile generale ale dinamicii permiteau să se postuleze invarianţa completă a energiei fotonului — ceea ce este contrar ideilor clasice, însă conform spiritului

[1] *Modern Cosmology...*, *op. cit.*, p. 144.

relativității cinematice — de unde rezulta o adevărată demonstrație a variației seculare a lui h în scara t.

În scara t — în care nu există astfel de dificultăți — deplasarea spre roşu era explicată printr-un veritabil efect Doppler. În scara τ frecvența de la punctul d era cea presupusă variabilă, crescătoare cu timpul t (de fapt, asociat întotdeauna cu orice evoluție cosmică), în timp ce fotonul călător își păstra frecvența ; de unde, la recepție, o aparentă „înroşire" a fotonului primit, în timp ce „în realitate" era vorba de o „albăstrire" a spectrului de referință [1]. Dar Milne nu a putut păstra formula pentru energia tranziției atomice în prima sa formă, de unde noua versiune.

V. Modelul milnean și Universul astronomici

Echivalență, *substratum* de observatori-particule fundamentale, sisteme statistice de particule libere suprapunîndu-se *substratum*-ului, efecte gravitaționale care rezultă de aici, înroşire a fotonilor care se deplasează la distanțe mari în Univers, cu aceste caracteristici principale, modelul putea fi comparat cu observațiile astronomice.

Centrele galaxiilor sînt identificate cu particulele fundamentale ale *substratum*-ului, galaxiile cu subsistemele statistice care se condensează în jurul particulelor fundamentale. Rezultă de aici două inconveniente :

1. Aşa cum am spus, particulele fundamentale, deci centrele galactice, nu pot fi decît singularități. Acest inconvenient este totuşi atenuat de faptul că cunoaşterea condițiilor fizice preponderente în centrul galaxiilor rămîne foarte limitată. Este posibil ca aici să aibă loc fenomene excepționale și Milne nu este nici primul și nici ultimul dintre astronomii contemporani care au avansat ipoteza că nucleele galactice sînt noduri cosmice importante. Jeans făcuse presupunerea că ele ar reprezenta punctele din care ar țîşni fără încetare în spațiu o materie de curînd creată [2]. Mult mai recent, Ambarțumian a presupus că galaxiile ar putea fi structuri în expansiune pornind de la un nucleu activ, de energie pozitivă [3]. Aceasta face ca ideea că centrele galactice sînt singularități ale structurii cosmice să nu fie inacceptabilă în sine. Dealtfel, Milne invocă în sprijinul acestei ipoteze măsurători care arată

[1] *Kinematic Relativity, op. cit.*, §§ 122—134, pp. 112—122.
[2] J. JEANS, *Astronomy and Cosmogony*, Cambridge, 1928, p. 352.
[3] Vezi mai jos, p. 383.

că în centrele galactice luminozitatea creşte foarte rapid pe măsură ce ne apropiem de centru, curba obţinută prezentînd în centru un maximum extrem de ascuţit [1].

2. Mai gravă este obiecţia că definirea *substratum*-ului ca un ansamblu *continuu* de observatori nu se potriveşte prea bine, atît din punctul de vedere al geometriei cît şi al astronomiei, cu ipoteza suprapunerii unor subsisteme statistice cu *substratum*-ul ; din punct de vedere geometric, pentru că aceasta obligă să se conceapă toate punctele spaţiului ca singularităţi ; din punct de vedere astronomic, pentru că nucleele galaxiilor sînt de fapt separate unele de altele prin condensări imense de materie şi prin spaţii intergalactice şi mai imense, dacă se poate spune aşa. Ştim că Milne nu ignora acest defect şi i se poate acorda privilegiul de a se servi după caz de una sau alta dintre descrieri, cu toate că acestea nu sînt într-un acord perfect. Acest procedeu nu este atît de unic în ştiinţa modernă încît să i se pretindă o rigoare prea mare ...

Proprietăţile sistemului de galaxii pot fi deci asimilate celor ale *substratum*-ului : sistemul este infinit şi în expansiune ; el se supune principiului cosmologic ; fiecare observator îl vede într-un mod identic cu oricare altul ; expansiunea este izotropă ; viteza sa este proporţională cu distanţa ; fiecare galaxie îşi păstrează indefinit o viteză constantă în raport cu originea (arbitrară) ; întregul Univers este conţinut într-o sferă de rază ct ; densitatea galaxiilor observate tinde spre infinit în vecinătatea suprafeţei acestei sfere.

Dificultatea constă în aceea că toate acestea nu sînt adevărate decît în scara t şi că este greu de ştiut în care dintre cele două scări, t sau τ, se fac măsurătorile efective din astronomie...

Mişcarea particulelor care compun subsistemele statistice — aceste subsisteme fiind galaxiile — este, după legile dinamicii milneene, mult mai complicată decît cea a galaxiilor ; ba chiar stranie [2]. Conform acestor legi, orice particulă „liberă" parcurge o traiectorie cosmică definită o dată pentru totdeauna (este imposibil să se conceapă mişcări „întîmplătoare", pentru că la scara cosmică legile nu mai sînt separabile de fenomenele cărora li se aplică) şi soarta sa este următoarea : particula mai întîi se îndepărtează, cu o viteză care creşte continuu, de nucleul căruia

---

[1] *Modern Cosmology...*, *op. cit.*, p. 104.

[2] *Most fearful and wonderful* (cu totul teribil şi minunat), scrie Robertson, de al cărui umor desigur că Milne nu era mai încîntat decît de „ortodoxismul" său (Recenzia cărţii *Relativity, Gravitation...*, *art. cit.*).

îi era asociată la momentul $t = 0$, ea atinge într-un timp finit viteza luminii, apoi începe să-şi micşoreze viteza pînă cînd se apropie de un alt nucleu, împreună cu care îşi continuă indefinit drumul ei. Cu alte cuvinte, galaxiile schimbă fără încetare materie. Milne stabileşte riguros acest rezultat, conform cu dinamica sa, dar foloseşte o deducţie calitativă tipică modului său de a vedea lucrurile : dacă particula se îndepărtează de nucleul „său", aceasta se întîmplă pentru că suferă atracţia gravitaţională a întregului Univers, cu alte cuvinte, „cade" spre ceea ce reprezintă pentru ea centrul Cosmosului, respectiv particula fundamentală în raport cu care este în repaus. Dar, pe măsură ce particula se accelerează, acest centru aparent fuge tot mai repede [1]. Atunci cînd particula atinge viteza luminii, centrul aparent dispare la orizont... pentru a reapare imediat de cealaltă parte, frînînd de acum înainte mişcarea şi apropiindu-se fără încetare de particulă.

Din această discuţie, Milne trage concluzia că în Univers trebuie să existe particule cu viteze foarte mari, pe care el caută în mod evident să le identifice — cu prudenţă totuşi — cu particulele din radiaţiile cosmice primare. În ceea ce priveşte particulele ajunse, la sfîrşitul carierei, să se plaseze în vecinătatea unui nucleu galactic, Milne sugerează că ele ar putea să formeze nebuloasele difuze pe care le conţin galaxiile. În sfîrşit, el a dedus din principiile sale o explicaţie a formei spirale a galaxiilor, dar nici o particularitate a acestei explicaţii nu este atît de netă pentru a o distinge categoric, prin consecinţele sale observabile, de alte teorii mai „clasice" care au fost propuse. Explicaţia lui Milne nu pare să fi reţinut prea mult atenţia astronomilor.

În consecinţele care rezultă din asimilarea Universului real modelului cinematic nu există nimic care să intre net în contradicţie cu observaţia şi, invers, nici ceva care să facă obiectul unei verificări particulare şi indiscutabile. Constanţa vitezei de recesiune a fiecărei galaxii, creşterea densităţii aparente a galaxiilor cu distanţa sînt lucruri care încă nu intră în cîmpul observaţiei. Aceasta este în realitate situaţia tuturor teoriilor cosmologice la ora actuală şi nu există motive pentru a separa în această privinţă teoria R.C. de alte teorii. Poziţia generală a cosmologiei teoretice faţă de observaţie va fi discutată într-un capitol ulterior.

---

[1] Tinere-ndrăzneţ, ce-atît de-aproape eşti de ţintă,
Nu te-ntrista cînd sărutarea vrea să te dezmintă.

J. KEATS, *Odă la o urnă grecească*, trad. L. Blaga, în *Din lirica universală*, E.S.P.L.A., Bucureşti, 1957. Însuşi Milne o citează cu acest prilej în *Modern Cosmology...*, *op. cit.*, p. 105.

B. Filozofia relativității cinematice

Cu toate că își propune exclusiv descrierea coerentă a Universului fizic, există mai multe motive pentru ca teoria pe care tocmai am expus-o în linii mari să poată fi numită filozofică, iar Whitrow are dreptate cînd, în legătură cu acest subiect, vorbește de o „filozofie naturală", expresie împrumutată de la Newton. Într-adevăr:

1. Intenția explicită a lui Milne și a colaboratorilor săi este mai puțin de a reprezenta în mod satisfăcător din punct de vedere rațional fenomenele cunoscute prin observație și generalizate prin inducție, cît de a construi aprioric un model de univers pe baza unor axiome epistemologice și metodologice; construcția nu arată deci exact ca o teorie fizică în sens obișnuit.

2. Teoria este cosmologică în spiritul său, adică ea refuză să recunoască ca fiind de la sine înțeleasă o distincție între forma și conținutul Universului real și al legilor abstracte care îi ordonează fenomenele.

Aceste principii aveau să rămînă după Milne principiile oricărei cosmologii noi.

Totuși, în concepția lui Milne cel puțin, dacă nu în cea a tuturor colaboratorilor săi, această cosmologie este în plus inseparabilă de teologie, iar teoria, în ochii principalului său autor, are ca rezultat, dacă nu ca scop, asigurarea concilierii „filozofiei naturale" cu învățătura creștină, așa cum o dovedește îndeosebi titlul ultimei lucrări a lui Milne [1].

Spre deosebire de cele două caracteristici precedente, următoarele două separă destul de net teoria lui Milne de toate celelalte teorii care se bazează pe principii analoage cu ale sale.

3. Rupînd în mod deliberat cu o tradiție tehnică, științifică și filozofică milenară, Milne trece la fundamentarea cunoașterii metrice a Universului nu pe baza măsurării lungimilor, ci pe cea a măsurării timpului. El se opune astfel tuturor filozofilor, care, de la sfîntul Augustin la Bergson, au contestat faptul că timpul ar fi ceva măsurabil și au vrut să facă din experiența timpului un domeniu inaccesibil metodelor matematice ale înțelegerii fizice. Pe de altă parte, încercarea lui Milne scoate în evidență un anumit paralelism care există între destinul „filozofiei naturale" și cel al filozofiei în general în epoca contemporană. Într-adevăr, meditația asupra timpului a devenit din ce în ce mai inseparabilă

---

[1] *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, lucrare pe care am citat-o de mai multe ori și care a fost publicată postum în 1952 de către Whitrow.

de meditația asupra existenței sau asupra omului. Încercarea lui Milne ne face să ne gîndim că ea se află de asemenea în centrul meditației asupra Universului.

4. În sfîrșit, Milne este primul „filozof natural" după Leibniz care încearcă să definească Universul în primul rînd ca o comunitate — ideală — de monade conștiente, să descrie intersubiectivitatea metrică înainte de a trece la descrierea obiectivității fizice, cu alte cuvinte care încearcă să depășească, în sensul pluralității monadelor, opoziția tradițională dintre subiect și obiect. Or, filozofia modernă a încercat în mii de feluri să scape de această opoziție, în timp ce epistemologia i-a rămas în multe privințe prizonieră.

I. Epistemologia și metafizica lui Milne

Pentru Milne, filozofia este deci sursa oricărei teorii fizice, în sensul primordial că teoria trebuie să se bazeze nu pe constatări experimentale, ci pe axiome epistemologice, și să se dezvolte deductiv. În aceste afirmații există mai întîi un aspect polemic care trebuie subliniat și care sare în ochi încă de la începutul ultimei lucrări, citată deja, a autorului. Milne se declară un „eretic" în știință și consideră că această atitudine ar trebui să-i fie naturală omului de știință. Or Milne nu observă această atitudine la fizicienii timpului său, cărora le reproșează, cu o sinceritate și o vigoare puțin obișnuite, dogmatismul (fizica, scrie el, este mult mai dogmatică decît filozofia), ignoranța în filozofie, disprețul pentru persoanele, chiar cele mai marcante, care se abat de la ortodoxism. Această atitudine este cu atît mai puțin justificată cu cît în fizică rareori o „teorie acceptată" durează mai mult de un deceniu...

În epistemologie, ortodoxismul este empirismul pozitivist, cel mai tipic reprezentant al acestuia fiind, după Milne, Karl Pearson : o lege a naturii nu ar comporta nici o necesitate, nu ar fi decît o „rutină a percepției" ; pentru știință interesant ar fi numai „cum" — și nu „de ce". Dar, obiectează Milne, în afara faptului că Pearson reduce știința la o simplă acțiune utilitară, ceea ce ea nu este în mod exclusiv, aserțiunea acestuia că necesitatea legii naturale nu este o necesitate logică este de fapt o „dogmă" ; căci, de unde putem ști acest lucru cu certitudine, dacă nu s-a făcut experiența, dacă nu s-au încercat pînă la capăt posibilitățile metodei deductive? Pentru știință există desigur, „fapte brute", adică fapte a căror existență nu poate fi nici demonstrată, nici

respinsă pornind de la legile cunoscute; astfel, experiența lui Cavendish arată că corpurile masive, care ar putea să se respingă, sau să nu se influențeze reciproc, în realitate se atrag.

Dar, pe lîngă faptul că rezultatele observaționale trebuie să fie luate în considerație cu tot atîta prudență ca și cele ale speculației teoretice, istoria științei arată că limita dintre „faptele brute" și celelalte fapte este variabilă și că este imposibil să se aleagă aprioric, dintre faptele observate, pe acelea care sînt destinate să rămînă pentru totdeauna „fapte brute". Căci dacă omul de știință caută fără încetare să-și îmbogățească cunoștințele prin experiență, el caută în aceeași măsură, printr-o tendință care îi este la fel de naturală, să elimine „faptele brute" prin sistematizarea teoretică a cunoștințelor sale. „Astfel, omul de știință își face o glorie din ceea ce caută să elimine — sprijinul său pe observație [1]".

Dealtfel, empirismul este pînă la urmă incapabil să răspundă unor întrebări esențiale asupra legilor naturii: de ce există legi simple? Sînt ele exacte, sau aproximative? În ce sens sînt ele adevărate? Căci nimeni nu a reușit vreodată să dea un enunț clar sau o justificare convingătoare pretinsului principiu al inducției. Util, poate, pentru descoperirea regularităților și pentru a produce o „convingere personală" în continuarea acestor regularități, acest principiu este de fapt o propoziție fără conținut veritabil.

Cît despre „legea statistică", ea nu poate fi, după Milne, decît un enunț secundar care nu are sens decît în raport cu legile primare exacte. De exemplu, Milne nu acordă nici un sens părerii că energia nu se conservă decît statistic. Pentru a afirma aceasta, este necesară o definiție a energiei, plecînd de la lucrul mecanic — dar în acest caz ea încetează să mai fie o entitate statistică [2]. Dincolo de această critică riguroasă, dar pînă aici negativă, a empirismului, se schițează afirmații epistemologice și metodologice, care dealtfel sînt mai greu să fie distinse clar. Este vorba, înainte de toate, de reabilitarea și de promovarea metodei deductive în știința fizică; în plus trebuie să știm exact cum să înțelegem această metodă. Două pagini consacrate cărții *Principia Matematica* a lui Whitehead și Russel arată că Milne nu înțelege metoda deductivă în modul în care o înțeleg acești autori, cărora le reproșează că sînt prea formaliști și că sacrifică uneori spiritul rigorii în favoarea aparențelor ei amăgitoare [3]. Este vorba, mai ales,

---

[1] E. A. MILNE, *op. cit.*, p. 21.
[2] *Ibid.*, p. 32.
[3] *Ibid.*, pp. 4–5.

de analiza implicaţiei, care nu permite să se înţeleagă ce este în realitate operaţia prin care cel care gîndeşte conchide o propoziţie din alta. Noţiunea de implicaţie este ceva mai profundă decît simpla absenţă a contradicţiei. Fără a se teme de paradox şi în opoziţie cu celebrele analize ale lui Kant, Milne afirmă în plus că propoziţiile sintetice nu sînt singurele care aduc o cunoaştere nouă, propoziţiile analitice putînd de asemenea să conţină o astfel de cunoaştere, „pentru că ele au adăugat la premisele lor germenul procesului deductiv". Contrar a ceea ce cred nematematicienii, matematica furnizează întotdeauna puţin mai mult decît ceea ce a fost pus în ea.

Se vede de aici de unde provine, la Milne, critica empirismului şi care filozofie a cunoaşterii este sursa teoriei relativităţii cinematice. Milne este, de fapt, un cartezian sau un platonician, în orice caz un metafizician al intuiţiei intelectuale, pentru care operaţia deductivă are sensul de a ne face să progresăm într-un Univers al esenţelor şi de a ne da astfel acces la înţelegerea divină. Este tocmai ceea ce Pearson şi empiriştii nu înţeleg, faptul că semnificaţia ştiinţei este de a face ca „privirea noastră să pătrundă în spiritul lui Dumnezeu" (*the giving of insight into the mind of God*) [1].

Istoria geometriei ne arată ceea ce trebuie să fie o ştiinţă, căci geometria a ştiut să încheie procesul de eliminare a faptelor brute în aşa fel încît să nu rămînă nici un reziduu iraţional. Geometria a început desigur, la egipteni şi la greci, prin constatarea empirică a anumitor regularităţi. Dar ea a devenit axiomatică, într-un mod imperfect la greci şi perfect la moderni. Aceasta nu înseamnă că geometria nu ar avea nici o legătură cu experienţa, ci că, dacă geometrul se lasă *ghidat* de experienţă în alegerea axiomelor, el nu face *apel* în particular la experienţă pentru a decide adevărul propoziţiilor sale, pentru că referirea la geometriile neeuclidiene ar putea duce la confuzii în această privinţă. Posibilitatea lor logică nu face „îndoielnică" axioma euclidiană a paralelelor, ci arată numai că, fără ea, conceptul de plan nu este complet determinat; fără această axiomă, planul este pur şi simplu subdescris (*under-described*). Deosebirea dintre diferitele tipuri de geometrie ţine numai de gradul de determinare pe care axiomele îl permit în descrierea esenţelor. Vedem apărînd aici motivul profund al preferinţei lui Milne pentru geometria euclidiană. Aceasta este mai satisfăcătoare din punct de vedere logic pentru că specifică mai complet conceptele, iar unul dintre avantajele

[1] E. A. MILNE, *op. cit.*, p. 12.

epistemologice ale scării *t* este acela că aceasta permite salvarea, cu prețul, este adevărat, al comodității unui spațiu „comun", a geometriei euclidiene.

În ceea ce privește confruntarea geometriei cu „spațiul fizic", ea este lipsită de sens și idealismul lui Milne se afirmă cu putere aici : nu există „spațiu fizic", spune el, „există numai spațiul abstract ales de gînditor ca structură în care își poate ordona fenomenele[1]". În definitiv, teoremele geometriei se referă la „forme sau idei platoniciene" și, plecînd de aici, se poate înțelege rolul observației în geometrie : aceasta nu poate decide în privința adevărului teoremelor, dar poate „verifica dacă un exemplu concret și particular de triunghi se poate încadra într-o oarecare măsură în entitatea abstractă reprezentată de triunghiul plan, așa cum este acesta definit de un anumit sistem de axiome[2]". Există aici ceva care amintește participarea platoniciană, cu toate dificultățile pe care, dealtfel, aceasta le implică și asupra cărora vom reveni.

Or, ceea ce a fost îndeplinit pe această cale de geometrie trebuie să fie întreprins și de științele cele mai înrudite cu geometria, în primul rînd cinematica, care trebuie să îmbogățească esențele geometriei cu o definiție a mișcării, ceea ce face necesar, așa cum au arătat argumentele lui Zenon, să se formuleze axiome cu privire la trecerea timpului.

Se vede deci că, pentru Milne, procesul deductiv care tinde să elimine din știință faptele brute și reziduurile iraționale constă nu din formalizarea, cu ajutorul unor simboluri golite de sens, a enunțului relațiilor empirice, ci din construirea apriorică a unui univers de concepte cu care datele experienței vor fi confruntate după aceea. Această definiție a științei nu este lipsită de analogii cu cea a lui Descartes, așa cum Milne însuși o remarcă cel puțin o dată. Aceasta nu o face însă mai convingătoare, pentru că ceea ce vedem reînviind este mai puțin metoda lui Descartes, cît metafizica sa. Căci orgolioasa teorie despre știință a lui Milne, ca și modelul său cartezian, este atît de strîns legată de o metafizică, chiar de o teologie, încît ea nu poate fi separată de acestea fără a-și pierde întreaga rațiune de a fi. Dacă rațiunea umană are într-adevăr puterea și datoria de a construi aprioric un univers conceptual, dacă, făcînd aceasta, ea nu riscă să se dedea la un simplu joc de simboluri, ci, dimpotrivă, își asigură o adevărată pătrundere în lumea reală, aceasta se datorește faptului că un

---

[1] E.A. MILNE, *op. cit.*, p. 27.
[2] *Ibid.*, p. 27.

acelaşi creator a dat Universului legile sale şi raţiunii, normele sale şi puterea sa. Faptul că fizica poate să găsească în lume o ordine naturală preconstituită este condiţia necesară şi suficientă pentru ca ea să fie perfect deductivă, rămînînd în acelaşi timp adecvată obiectului său.

Fără îndoială că observaţia este aceea care trebuie să decidă această adecvare, dar atunci cînd Milne vorbeşte de observaţie, se vede bine că el nu aşteaptă de la ea această ajustare progresivă şi acest supliment indefinit de informaţie pe care ştiinţa tradiţională, chiar cea mai teoretică, i-l va cere. În afară de faptul că ea „arată calea" (nu ne putem împiedica să ne gîndim din nou la Descartes, pentru care experienţa permite „să se meargă în întîmpinarea cauzelor prin efecte"), ea indică entităţile „care realizează în natură — poate imperfect — ideile platoniciene la care se referă axiomele". Dar ea are mai ales un rol „transcendental", transcendental în sensul că prin consecinţele sale filozofice depăşeşte scopurile imediat utilitare ale descoperirii şi ale verificării ideilor platoniciene. Ea trebuie să-şi îndeplinească odată pentru totdeauna acest rol, pe care îl putem numi „metafizic", răspunzînd prin da sau nu la întrebarea dacă lumea este raţională şi, în consecinţă, dacă Dumnezeu este raţional, ceea ce exclude în acelaşi timp Diavolul din Univers, pentru că „nu este necesar ca Diavolul să fie raţional [1]".

Dacă ne gîndim la acest văl care îl împiedică pe om să arunce o privire lipsită de pietate asupra actului însuşi al creaţiei (nu există fizică la timpul $t = 0$), constatăm deci ca acest Diavol pe care raţiunea îl alungă din Univers, că Milne angajase în teoria sa asupra ştiinţei şi în cosmologia sa cu totul altceva decît păreri despre galaxii sau o metodă pentru definirea potenţialului ...

„Am primit formaţia unui fizician matematician, dar şi pe cea a unui credincios al bisericii anglicane. Chiar dacă am avut perioadele mele de agnosticism, mi-am revenit întotdeauna. Cred cu cea mai mare fervoare că Universul a fost creat de un Dumnezeu atotputernic..."

Judecînd după aceste cîteva rînduri extrase din concluzia ultimei sale cărţi [2], se poate crede că Milne a trăit personal cu o anumită acuitate conflictul dintre credinţă şi raţionalismul ştiinţific. Nu este nimic deosebit de original în aceasta, dar foarte originală este ieşirea găsită de Milne şi modul său de a depăşi

[1] E. A. MILNE, *Modern Cosmology...*, *op. cit.*, pp. 155—156. Cum să nu ne gîndim din nou la Descartes şi la geniul său rău?

[2] *Ibid.*, p. 160.

conflictul fără a sacrifica ceva. De obicei, oamenii de ştiinţă care profesează credinţa creştină par să admită mai mult sau mai puţin clar şi explicit că există un domeniu al ştiinţei şi altul al credinţei, şi că important este de a nu le confunda, fie vorbind în mod teologic despre fizică, fie trăgînd concluzii care ating domeniul teologiei pornind de la rezultate dobîndite de fizică.

Dar Milne, cu pasiunea sa intelectuală şi gustul său pentru certitudini raţionale definitive, nu era dispus pe cît se pare să admită acest fel de compromis. Dacă fizica are limite, „trebuie ca ea să depăşească, într-o sinteză mai largă, aceste limite". Astfel, după Milne, teologia nu poate fi separată de fizică. Răspunzînd la o întrebare despre existenţa lui Dumnezeu, că „nu avea nevoie de această ipoteză", Laplace se condamna singur să ignore definitiv originea legilor naturale de care se servea [1]. „Cercetătorii care lasă la o parte pe Dumnezeu, scrie Milne mai departe, adică raţiunea de a fi a Universului, sînt lamentabil handicapaţi în examinarea problemelor cosmologice" [2].

Se vede de aici cît de departe era Milne de poziţiile general admise care, dealtfel, dacă se pot într-adevăr susţine, aceasta se întîmplă probabil numai în contextul unui empirism foarte profund şi foarte hotărît, care ar fi exact la polul opus al temperamentului intelectual al lui Milne.

Milne nu ezită, de asemenea, să-şi pună întrebări asupra raporturilor dintre Dumnezeu şi Universul fizic şi să aprecieze teoria sa, ca şi pe celelalte, după criterii teologice. La citirea acestor consideraţii, oricît de subtile ar fi ele, impresia dominantă este aceea de anacronism; ai crede uneori că ai de a face cu un discipol al lui Leibniz care, prin 1720, ar fi avut cunoştinţă de teoria relativităţii şi de spectrogramele galaxiilor obţinute de Humason la Mount Palomar. Teologia şi cosmologia se sprijină una pe alta într-un mod oarecum circular, după schema următoare: pe de o parte, lumea îşi manifestă originea divină prin conformitatea sa generală cu modelul milnean, care face să se înţeleagă că Universul a fost în mod necesar creat şi care explică, în acelaşi timp, originea Universului şi a legilor cărora li se supune. Pe de altă parte, certitudinea pe care o avem în privinţa originii divine a lumii ne ghidează în alegerea şi determinarea modelului, permiţîndu-ne să înlăturăm soluţiile care nu sînt în conformitate cu principiul raţiunii suficiente şi pe care Dumnezeu, raţiune suverană, nu le-ar fi ales, ca şi soluţiile care nu sînt demne de măreţia creato-

---

[1] E. A. MILNE, *Modern Cosmology...*, *op. cit.*, p. 159.
[2] *Ibid.*, p. 62.

rului. Să examinăm mai îndeaproape această argumentaţie. În echivalenţa *t*, care poate fi considerată în multe privinţe ca cea mai „adevărată" dintre toate, există într-adevăr un zero natural al timpului, care este un moment absolut cu toată relativitatea măsurătorii timpului (momentul coincidenţei între doi observatori luaţi la întîmplare este cel al coincidenţei *tuturor ego*-urilor echivalenţei). Acest moment reprezintă creaţia : nu se poate spune nimic despre starea Universului *înaintea* acestui moment — nu pentru că nu se poate şti nimic, ci pentru că ar fi absurd (cum ar fi să vorbim despre logaritmul unui număr negativ). Nu se poate spune nimic nici despre starea Universului *la* acest moment. În schimb, starea Universului poate fi determinată în orice moment *după* momentul zero.

Astfel sînt împăcate într-un mod pozitiv dogma religioasă a creaţiei şi exigenţa raţională de inteligibilitate universală. Căci creaţia, impunîndu-se raţiunii, nu îşi pierde caracterul misterios. Aspectul său asimptotic din punct de vedere matematic o face să fie un eveniment inaccesibil privirii omului : nu o putem „contempla" [1]. Ea rămîne „învăluită", pentru a folosi o expresie care revine des la Milne atunci cînd vorbeşte despre aceste lucruri. Dar, odată stabilit cadrul conceptual al echivalenţei *t*, destinul Universului este clarificat : deoarece variabila *t* este pretutindeni prezentă (chiar şi în scara τ, sub forma parametrului t_0), Universul „nu lasă niciodată să se uite că a fost creat", „sistemul strigă (*cries out*) că a fost făcut de un Dumnezeu exterior timpului şi spaţiului" [2]. Or, proprietăţile echivalenţei rezultă numai din determinarea condiţiilor unei măsurători raţionale a timpului. Pentru monadele care caută să se pună în acord pe baza unei astfel de măsurători, creaţia apare deci ca o veritabilă necesitate logică. Teoria relativităţii cinematice conduce deci prin ea însăşi la ideea creştină de Dumnezeu, fiinţă raţională, dar în acelaşi timp creator al lumii şi care transcende raţiunea umană. Fără să fi dat vreodată o semnificaţie apologetică operei sale, Milne este totuşi convins că ea contribuie la armonia raţiunii şi a credinţei. El ajunge chiar pînă la a spune că unicitatea Universului — relativitatea cinematică „îşi face o glorie" din a fi făcut-o înţeleasă — este „un argument autentic în acelaşi timp pentru raţionalitatea şi unicitatea lui Dumnezeu" [3].

Cosmologia conduce deci la teologie, dar şi invers, ideea unui Dumnezeu raţional capătă o valoare ştiinţifică constructivă :

---

[1] *Relativity, Gravitation...*, *op. cit.*, § 150, p. 134.
[2] *Kinematic Relativity*, *op. cit.*
[3] *Modern Cosmology...*, *op. cit.*, p. 50.

deoarece Dumnezeu este raţional, se poate şti în ce sens se exercită atotputernicia sa şi, mai ales, în ce sens nu se exercită ea. Milne insistă frecvent şi cu tărie, uneori cu un curios accent de sfidare, asupra limitărilor pe care absurditatea logică le impune atotputerniciei divine. „Însuşi Dumnezeu este limitat de raţiune în actul divin al creaţiei. Dumnezeu nu poate face imposibilul”[1].

Odată aflaţi în posesia ideei de Dumnezeu creator, raţional, această idee devine aproape „operatorie”. Astfel ea exclude posibilitatea unui Univers care să fi avut la origine o extindere finită; în această extindere ar trebui să fie definită simultaneitatea. Aceasta este însă cu totul imposibil în scara în care este identificat momentul iniţial, iar această imposibilitate logică poate fi considerată ca o imposibilitate ontologică. Pe de altă parte, dacă Universul, aşa cum am văzut, a fost creat cu necesitate într-*un* punct, nu se poate să fi fost creat într-*un anume* punct dintr-un spaţiu preexistent (este argumentul lui Leibniz contra lui Clarke), pentru că nu ar fi existat o raţiune suficientă pentru această alegere, iar Dumnezeu, fiinţă raţională, nu face nimic fără motiv. Ca urmare, trebuie să evităm acest element de arbitrar în sinteza cosmologică. Este tocmai ceea ce face, după cum am văzut, relativitatea cinematică : avînd în vedere relativitatea spaţiului în scara *t*, fiecare dintre observatorii fundamentali se poate considera pe bună dreptate ca ocupînd chiar locul creaţiei.

Argumentul pe care Milne îl opune atomului primitiv al lui Lemaître este analog cu acesta. Dacă se presupune, într-adevăr, că istoria lumii începe cu explozia acestui supraatom, ar trebui să se explice de ce Universul a fost creat tocmai cu *această* cantitate de mişcare, definită independent de orice observator, sau de ce cantitatea de mişcare iniţială se poate anula în raport cu un *anumit* observator bine definit. La aceste întrebări principiul raţiunii suficiente nu furnizează un răspuns, ceea ce exclude posibilitatea ca Dumnezeul raţional să fi creat lumea în acest mod. În schimb, problema nu se pune în relativitatea cinematică, unde mişcarea de expansiune nu antrenează nici o acumulare de energie cinetică, în nici un punct şi în raport cu nici un observator.

În sfîrşit, pentru a cita un ultim exemplu de argument teologic (s-ar putea da şi altele) folosit de Milne în aprecierea ipotezelor cosmologice, Milne exclude posibilitatea existenţei unui model

---

[1] *Modern Cosmology...*, *op. cit.*, p. 33. Milne nu este un adevărat leibnizian, în sensul că nu face o distincţie netă între imposibilitatea logică propriu-zisă şi imposibilitatea rezultată din neconformitatea cu principiul raţiunii suficiente; se va vedea aceasta din argumentele care urmează.

finit de univers (de tipul primului model cosmologic al lui Einstein), pentru că un astfel de Univers nu ar fi compatibil cu măreția creatorului [1].

Această cosmo-teologie, repetăm, este caracteristică lui Milne și ea pare deosebit de anacronică și pre-critică. Dar aici, ca și în alte privințe, meritul poziției lui Milne constă în radicalismul său. Milne merge pînă la capătul ideilor și pune astfel în plină lumină motivele unei tentații sau ale unei neliniști care animă mai mult sau mai puțin secret multe din controversele privind expansiunea Universului și alegerea unei ipoteze cosmologice și care dau cosmologiei stilul și fizionomia sa particulară în știința acestui secol. Punînd problema Universului ca idee și nu ca concept, ne situăm în mod necesar la limita științei și nu putem evita să luăm cunoștință în mod direct și explicit de relativitatea cunoașterii științifice, care nu este pe deplin sigură de sine decît dacă nu-și pune prea multe întrebări în legătură cu originea sa, adică cu experiența preraţională, și poate dacă nu împinge prea departe încercările sale de sinteză. Știința este imperiul mijlocului. Milne pretinde însă să parcurgă drumul cunoașterii de la o extremă la alta și tocmai această îndrăzneală îl deosebește de toți contemporanii săi.

II. „Filozofia naturală" și „metoda epistemologică" ale lui G. J. Whitrow

Teoria relativității cinematice, axiomele și metodele sale, nu sînt legate în mod necesar de epistemologia și încă mai puțin de metafizica lui Milne. La aceasta ne fac să ne gîndim analizele lui Whitrow, căruia îi datorăm o încercare mai convingătoare chiar decît cea a lui Milne de a da o bază epistemologică indiscutabilă „filozofiei naturale", cum o numește el, forma cea mai desăvîrșită la ora actuală a acesteia fiind, după el, relativitatea cinematică [2].

Amintim că Whitrow este unul dintre principalii făuritori ai teoriei relativității cinematice și că tocmai el este cel care a determinat forma funcțiilor-semnal ale echivalenței liniare prin aplicarea teoriei grupurilor.

Ca și Milne, Whitrow refuză empirismul epistemologic și subliniază paradoxul unei științe care nu încetează să-și extindă

---

[1] Așa cum am spus mai sus, Milne s-a pronunțat întotdeauna împotriva unui Univers finit. Dar acest argument teologic nu apare decît în ultima sa lucrare.

[2] G. J. WHITROW, *The Epistemological Foundations of Natural Philosophy*, în Philosophy, XXI, 1946.

aplicaţiile practice şi să-şi simplifice în acelaşi timp ipotezele fundamentale. Acesta este un fapt de neînţeles pentru empirism. Whitrow constată că metafizica raţionalistă este discreditată în faţa oamenilor de ştiinţă şi din acest moment gîndirea sa se angajează pe o cu totul altă cale decît cea a lui Milne. În timp ce acesta reînvie cartezianismul, putem spune că metoda lui Whitrow este kantiană prin aceea că el caută înainte de toate să expliciteze principii care valorează ca condiţii de posibilitate a unei ştiinţe metrice a Universului fizic. Aceasta îl face să constituie şi să delimiteze un domeniu de adevăr pe care îl numeşte „epistemologic", care nu relevă nici experienţă, nici logică pură ; pe scurt, o sferă a cunoaşterii care corespunde, dacă se operează modificările necesare, la ceea ce Kant numeşte „transcendental".

Pentru Whitrow, se impun două principii ce caracterizează metoda ştiinţifică : cel de uniformitate şi cel de comunicabilitate. Se vede de aici că dacă epistemologia lui Whitrow este kantiană prin metoda sa, ea nu este deloc astfel prin conţinut : „comunicabilitatea" nu este o categorie, iar intersubiectivitatea nu este o problemă a logicii transcendentale. În tradiţia raţionalistă, adevărul este comunicabil în sine şi pentru ca lucrul acesta să reiasă cu claritate a fost necesară întreaga dezvoltare a fizicii teoretice.

În legătură cu principiile sale, Whitrow pune întrebarea : nu dau ele oare o definiţie prea largă metodei ştiinţifice, astfel încît ea să ignore distincţiile necesare între logică, matematică şi fizică ? La aceasta el răspunde categoric : tocmai compartimentarea arbitrară între ştiinţe este cea care creează confuzia epistemologică ; axiomele citate trebuie să fie deci suficiente pentru a defini cadrul unei fizici apriorice. În acest spirit se va putea arăta că dinamica poate şi trebuie să se conformeze modelului furnizat de geometrie şi să se constituie ca ştiinţă deductivă. Din acest punct de vedere se observă că mecanica lui Newton, teoria relativităţii generalizate şi teoria relativităţii cinematice sînt aproximaţii din ce în ce mai satisfăcătoare ale unei teorii fizice ideale, ale cărei concepte fundamentale depind direct de axiomele epistemologice. Pentru Whitrow, ca şi pentru Milne, lecţia epistemologică principală se află în istoria geometriei. Dar şi asupra acestui punct interpretarea unuia diferă de a celuilalt.

Whitrow face remarca că geometria evoluează de mult timp într-un sens „cripto-relativist". De exemplu, cînd se trece de la geometria lui Euclid, ştiinţă a formelor esenţiale, izolate şi imuabile, la geometria carteziană şi la geometria proiectivă, apare o unitate a conceptelor, însă numai prin introducerea unei noi mul-

tiplicităţi ,,alogice'', ,,relativiste'', centrată arbitrar, în una sau alta din aceste noi forme de geometrie [1].

Dar avîntul geometriilor neeuclidiene este acela care a transformat complet natura problemelor filozofice ridicate de geometrie. Tot aşa cum succesul geometriei euclidiene dusese la naşterea disputei universaliilor, dezvoltarea geometriilor neeuclidiene, adică constituirea geometriei ca disciplină pur formală, a suscitat o nouă problemă filozofică care îi va permite lui Whitrow să testeze valoarea axiomelor sale epistemologice. Această nouă problemă este : are geometria o semnificaţie? Sau, mai mult : ,,Există obiecte cărora să li se poată aplica axiomele astfel încît axiomele să fie adevărate?'' Cu toate că acestei întrebări i se poate da un răspuns aritmetic, ea este de fapt legată de problema aplicării geometriei la cunoaşterea lumii exterioare.

Răspunsul comportă desigur un anumit convenţionalism, pentru că înregistrarea directă a experienţei nu este suficientă pentru a scoate în evidenţă fără echivoc obiectele care prin ele însele fac semnificative anumite axiome, excluzînd altele. Înainte de orice este deci important să se cunoască criteriile de alegere. Whitrow refuză aici să-l urmeze pe Poincaré, afirmînd că criteriul de alegere nu trebuie să fie cel al simplicităţii, căci simplicitatea pe care Poincaré o are în vedere este simplicitatea formală, pur sintactică şi intrinsecă. Această simplicitate nu se află însă într-un raport necesar cu semnificaţia conceptelor fundamentale considerate şi, în orice caz, simplicitatea intrinsecă a unei geometrii ca cea a lui Euclid poate foarte bine să antreneze o complicaţie epistemologică inutilă. Astfel, teoria relativităţii generalizate scoate în evidenţă faptul că nu există argumente indiscutabile pentru a dovedi că cel mai potrivit pentru descrierea lumii fizice este cadrul euclidian [2], cu toate că procedeele lui Einstein pot să ni se pară puţin arbitrare. Contrar empirismului, Whitrow susţine deci necesitatea definirii apriorice a unei reguli, dar susţine de asemenea că criteriul de alegere nu poate fi simpla comoditate formală. Criteriul trebuie să fie *epistemologic* şi, în ceea ce priveşte geometria, răspunsul la întrebarea pusă se găseşte în opera lui Helmholtz şi a lui Sophus Lie : singurele spaţii omogene, izotrope şi continue sînt cele de curbură constantă şi există trei astfel de spaţii : cel

---

[1] Menţionăm totuşi că în ochii lui Descartes caracterul relativist al propriei sale geometrii rămînea profund ascuns, aşa cum o dovedeşte, de exemplu, modul în care vorbeşte despre obiectele geometriei în cea de-a cincea ,,meditaţie'' a sa.

[2] Se vede că Whitrow nu înţelege în acelaşi mod ca Milne ,,privilegiul'' geometriei euclidiene şi că atitudinea sa faţă de ortodoxism — teoria relativităţii generalizate — este mult mai puţin polemică.

hiperbolic, cel sferic şi cel euclidian. Local, pentru distanţe mici în raport cu raza de curbură, toate trei sînt euclidiene, astfel că alegerea geometriei euclidiene pentru a da formă cel puţin fizicii elementare este justificată prin raţiuni *epistemologice*. Descoperirile lui Helmholtz şi Lie arată că, dacă se adoptă axiomele geometriei euclidiene, operaţiile de măsurare devin posibile, cel puţin în formele cele mai primitive şi mai puţin elaborate ale acestora. Într-adevăr, din axiome rezultă că proprietăţile metrului observatorului A sînt independente de orientare şi că măsurătorile făcute cu metrul lui A sînt congruente cu cele făcute cu metrul lui B, oricare ar fi mărimea lor. Principiile „transcendentale" de uniformitate şi de comunicabilitate sînt în acest fel respectate.

Aşadar, în aplicarea geometriei la experienţă, elementele formale şi elementele empirice, care joacă, desigur, şi unele şi celelalte, un rol, sînt totuşi subordonate principiilor epistemologice caracteristice metodei ştiinţifice.

Whitrow indică de asemenea, fără a-şi dezvolta însă prea mult argumentaţia, că aceleaşi remarci ar putea fi valabile şi pentru aritmetică. El evocă, după Whitehead, o legendă cu privire la Conciliul de la Niceea : se spune că acolo ar fi fost imposibil să se numere exact episcopii prezenţi ; cînd s-au aşezat în jilţurile lor erau trei sute optsprezece ; cînd s-au ridicat pentru apel, s-au găsit trei sute nouăsprezece. Numărul lor n-a fost stabilit niciodată : atunci cînd se ajungea la ultimul, acesta lua imediat înfăţişarea vecinului său. După Whitrow, această legendă evidenţiază sensul axiomelor aritmeticii, căci nu există absurditate logică în faptul că în natură există mulţimi de obiecte care se comportă în raport cu numărarea, la fel de puţin „ortodox" ca — după legendă — adunarea de la Niceea. Aceasta este totuna cu a spune că axiomele aritmeticii trebuie considerate în esenţă ca „sintaxa unui concept de specificare, primitiv din punct de vedere epistemologic", pentru că ele sînt în conformitate cu principiile de uniformitate şi de comunicabilitate şi formează baza operaţiilor de numărare în forma lor cea mai elementară.

Aceste consideraţii îi permit lui Whitrow să pună problema centrală a analizei sale : poate fi construit un sistem simplu al dinamicii, care să fie fundamentat din punct de vedere epistemologic, în sensul în care este, aşa cum am văzut, geometria euclidiană ? Există, în plus, „corespondenţe" între cele mai simple tipuri de dinamică, aşa cum există între geometrii ? Spre deosebire de Poincaré, pentru care există o diferenţă naturală între axiomele

geometrici şi cele ale dinamicii [1], Whitrow consideră că trebuie să se răspundă afirmativ la această întrebare.

Într-un anumit sens, *principiul inerţiei*, caracterul său deconcertant, efortul fizicienilor şi al filozofilor de a-l demonstra, amintesc din punct de vedere istoric de lunga dezbatere în privinţa axiomei euclidiene a paralelelor. În forma sa tradiţională, enunţul principiului nu este deloc satisfăcător : dacă particula liberă se mişcă în vid, cum să-i reperezi traiectoria ? Iar dacă există corpuri de care ne servim pentru a-i repera traiectoria, cum să înţelegi că aceste corpuri nu au nici o influenţă asupra ei ? Trebuie deci să se găsească o formulare a legii inerţiei care să satisfacă principiul leibnizian al relativităţii spaţiului şi principiul lui Mach, care spune că inerţia unui corp nu are sens decît în raport cu ansamblul celorlalte corpuri. Inerţia nu poate fi o proprietate a unui corp izolat, ci „o relaţie între un obiect şi o clasă de obiecte şi un cadru de referinţă fundamental, format de către celelalte obiecte”. Aceasta nu poate decît să apropie inerţia de gravitaţie. Cum trebuie deci construită o adevărată axiomă a inerţiei ?

Întrebarea nu poate să-şi găsească un răspuns satisfăcător decît în cadrul relativităţii cinematice. Dar înainte de a-l expune, Whitrow face un lung ocol, definind condiţiile pe care trebuie să le îndeplinească un sistem de filozofie naturală şi confruntînd cu acest ideal principalele încercări efectuate pînă acum în acest sens. Acest ideal este cel al unei ştiinţe care ar putea să fie construită deductiv, pornind de la axiome primitive din punct de vedere epistemologic, în sensul definit mai sus. Mecanica lui Newton şi teoria relativităţii generalizate sînt aproximaţiile cele mai demne de luat în consideraţie. Ambele sisteme conţin aspecte arbitrare, dar teoria einsteiniană conţine mai puţine. Pe de altă parte, deoarece teoria relativităţii reprezintă prima încercare în acest sens, nu oferă încă o teorie completă a congruenţei ceasurilor şi etaloanelor de lungime. După Whitrow, punctul slab al teoriei lui Einstein, din acest punct de vedere, constă în aceea că nu comportă o analiză a relaţiilor între diferitele ceasuri şi rigle care pot fi utilizate de *acelaşi* observator ; numai relativitatea cinematică se bazează pe axiome explicite care permit să fie puse în legătură toate măsurătorile. Cît despre cadrul de referinţă în raport cu care este necesar să fie descrise obiectele şi fenomenele (Whitrow

---

[1] Argumentul lui Poincaré, la care se referă explicit Whitrow, este acela că experienţele care conduc la alegerea convenţiilor geometriei nu se află într-o legătură directă cu obiectele proprii geometriei ; acestea sînt experienţe de mecanică şi de optică. Dimpotrivă, convenţiile fundamentale ale mecanicii şi experienţele care dovedesc valoarea lor se referă la aceleaşi obiecte sau la obiecte analoage.

nu pune explicit această noţiune de cadru de referinţă (*framework*) în legătură cu principiile sale epistemologice de uniformitate şi de comunicabilitate, dar nu ar fi probabil prea dificil să scoatem în evidenţă această relaţie), nu există decît un anumit număr de moduri posibile de a-l concepe şi toate au fost încercate de-a lungul istoriei. Whitrow consideră că soluţia unitară apare la Parmenide, soluţie care se caracterizează prin unitatea cadrului de referinţă şi atemporalitatea sa. Prestigiul viziunii eleatice a Universului, datorat extremei sale simplicităţi logice, a avut consecinţe durabile asupra filozofiei naturale. Această influenţă s-a exercitat în sensul unei preponderenţe a metodei geometrice asupra metodei aritmetice în filozofia naturală. Argumentele lui Zenon îndreptate împotriva aritmetismului pitagoreicilor i-au făcut pe greci, şi multă vreme şi pe moderni, să se ferească în acelaşi timp de orice monadologie şi de orice încercare de a pune aritmetica la baza cunoaşterii naturii. Pe de altă parte, influenţa lui Parmenide a făcut ca în spiritul uman să se „cristalizeze" în aşa măsură noţiunea de „invarianţă", sub forma atemporalităţii, încît urma acestei influenţe se găseşte încă în conceptul galileian de timp, care este geometric, reversibil şi... atemporal (*timeless*). În sprijinul acestor analize ar putea fi invocată dealtfel coexistenţa în ontologia lui Spinoza a trei „valori", cărora Whitrow le atribuie o origine parmenidiană comună: unitate, geometrie şi eternitate.

Dacă cadrul fundamental nu este unitar, atunci trebuie ca el să fie definit ca o pluralitate ordonată de monade, esenţial fiind să se cunoască natura elementelor şi tipul relaţiilor reciproce dintre ele. Leibniz ne oferă prima încercare în acest sens; definind monada prin conştiinţă, cel puţin virtuală, el angajează pluralismul pe o cu totul altă cale decît cea a aritmetismului pitagoreic şi cea a atomismului lui Democrit (mai grosieră din punct de vedere filozofic). Leibniz este pe de altă parte primul care a avut complet format conceptul de relativitate a spaţiului şi a timpului, permiţînd astfel filozofiei naturale să se debaraseze de dificultăţile de netrecut pe care le aduce cu sine ideea de spaţiu absolut, în particular pentru că, „dacă spaţiul este absolut, atunci nimic altceva nu poate exista din punct de vedere raţional şi timpul nu trebuie să fie numit absolut, ci non-existent".

Rezultă că, la Leibniz, nu există comunicare între monade şi aceasta este deosebirea principală dintre sistemul său de filozofie naturală şi relativismul modern. Într-adevăr, odată cu teoria relativităţii restrînse apare primul sistem de un tip nou (monismul parmenidian fiind primul, iar pluralismul leibnizian, fără comunicare între monade, fiind al doilea) în care cadrul de referinţă fun-

damental al fenomenelor este o pluralitate de monade în intercomunicare. După Whitrow, există motive epistemologice care au făcut ca filozofia naturală să ajungă aici, căci ştiinţa naturii caută judecăţi asupra cărora să poată fi posibil un acord universal; or, „un astfel de acord implică existenţa unei comunităţi care să poată decide dacă se pune sau nu de acord". Pe de altă parte, în ştiinţa modernă, observatorii sînt din ce în ce mai puţin consideraţi ca spectatori şi din ce în ce mai mult ca martori care contribuie direct la stabilirea adevărului.

Astfel se precizează sensul pe care îl capătă comunitatea ideală de monade pentru filozofia naturală în ultima sa formă. Această comunitate se defineşte prin operaţiile care îi permit fiecăruia să se pună în acord cu ceilalţi. În alţi termeni, filozofia naturală caută *invarianţi*, dar în loc să se definească prin caracterul său imuabil, invariantul se va defini de acum încolo prin *identitatea pentru o întreagă clasă de observatori*. Prin acest concept de invariant, filozofia naturală poate integra temporalitatea fără a abandona inteligibilitatea.

Acest concept asigură de asemenea legătura logică esenţială dintre cele două principii pe care Whitrow le pune la baza epistemologiei sale, uniformitatea şi comunicabilitatea. „Clasicii" relativităţii recunosc fără îndoială cel puţin un invariant absolut, viteza luminii în vid, dar teoria relativităţii cinematice este cea care arată că această constanţă poate fi considerată ca o convenţie liber aleasă.

În cele din urmă, teoria relativităţii cinematice îi apare lui Whitrow ca sistemul care se apropia cel mai mult în epoca lui de idealul epistemologic pe care îl propunea el.

Ea pleacă de la conceptul abstract al unei monade care face experienţa succesiunii ireversibile şi este supusă legii de identitate. Evenimentele observate de monadă pot fi puse în corelaţie cu numerele, fie într-un mod continuu, fie într-un mod discontinuu. Numai primul mod, remarcă Whitrow, a fost explorat; dacă l-am examina pe cel de-al doilea, ar trebui să ne aşteptăm la „rafinamente" cuantice. Corelaţia dintre cele două ceasuri este definită epistemologic prin analiza condiţiilor necesare pentru congruenţa măsurătorilor. Astfel, conceptul de ceas fundamental poate fi definit într-un mod operatoriu fără un postulat ontologic asupra măsurării timpului. Pe de altă parte, relativitatea cinematică începe *în mod aritmetic*, ceea ce contrastează cu procedeele relativităţii generale, care, într-un mod mai clasic, urmăreşte să geometrizeze fizica.

În relativitatea cinematică, primul concept *geometric* introdus este cel de reversibilitate, care apare odată cu triada care constituie *echivalența* : „Pentru a da un conținut inițial conceptului de timp ireversibil „sînt suficienți doi observatori ; la fel, sînt suficienți trei pentru conceptul fundamental de spațiu reversibil''. Cu acești trei observatori, relativitatea cinematică poate să enunțe o axiomă analoagă axiomei fundamentale a tuturor geometriilor metrice, aceea după care lungimea unui traseu este independentă de sensul măsurătorii.

Structura geometrică a sistemului (nu revenim asupra acestui lucru) rămîne totuși dependentă de alegerea scării timpului. Cît despre trecerea de la cinematică la dinamică, iată cum o înțelege Whitrow, care în această privință este mai explicit decît Milne : ea trebuie să fie efectuată, așa cum înțelesese și Painlevé, în așa fel încît legile de mișcare să poată fi deduse dintr-o axiomă de cauzalitate care răspunde la întrebarea „cum poate un sistem material să continue să existe de la o stare la alta ?'' Dar aceasta, contrar a ceea ce credea Painlevé, nu impune nici un alt postulat decît principiul identității și principiul rațiunii suficiente. Or, primul dintre acestea impune ca fiecare particulă masivă să fie atașată unui observator echivalent determinat, iar al doilea, ca particula masivă să fie în centrul de simetrie dinamică și să rămînă acolo, deoarece observatorul echivalent se află în centrul de simetrie cinematică. Aceasta conduce la distribuirea maselor în echivalență, care devine astfel un *substratum*, și la continuarea elementelor definite cinematic prin forma de echivalență. În ceea ce privește mișcarea particulei libere, ea poate fi definită pornind exclusiv de la caracteristicile *substratum*-ului. În scara τ, care, așa cum știm, este aceea care corespunde timpului din mecanica clasică, mișcarea este, cel puțin într-o anumită aproximație, rectilinie și uniformă în raport cu *substratum*-ul, care în această scară este static. Astfel este satisfăcut principiul lui Mach, iar legea inerției este fundamentată din punct de vedere epistemologic. Problema pusă își găsește un răspuns afirmativ : o dinamică elementară, apropiată de cea a lui Newton, a putut fi derivată de către Milne din axiome epistemologice, în același mod în care au fost derivate de către Helmholtz și Lie cele trei geometrii elementare ale căror axiome conferă spațiului o curbură constantă.

Aceasta este justificarea epistemologică, „transcendentală'', pe care Whitrow o dă relativității cinematice ; am simplificat pe cît a fost posibil — și, sperăm, fără a-i trăda spiritul — o argumentație subtilă și pătrunzătoare, dar uneori complicată și chiar obscură. Mult mai riguroasă și mai convingătoare decît cea a lui Milne

însuşi, această analiză ni se pare totuşi că suscită rezerve în privinţa a două puncte principale. Mai întîi, în legătură cu principiul identităţii, nu se vede deloc clar cărui tip de entităţi analiza se poate aplica într-un mod convenabil din punct de vedere epistemologic. Într-adevăr, Whitrow spune că monada conştientă de scurgerea timpului trebuie să satisfacă acest principiu şi, evident, acest lucru nu poate fi contestat, în primul rînd pentru că conştiinţa timpului implică identitatea *ego*-ului, aşa cum arătase Kant. El spune, mai mult, că orice particulă masivă trebuie să fie ataşată, în virtutea axiomei identităţii, unui observator echivalent bine definit, ceea ce pare să implice nu numai faptul că monada satisface această axiomă, ci şi faptul că numai ea o satisface. În aceste condiţii, însă, particula liberă ale cărei caracteristici cinematice nu sînt, prin definiţie, cele ale observatorilor fundamentali, încetează să mai aibă un statut epistemologic perfect definit sub raportul identităţii. Cea de-a doua rezervă ar fi următoarea : nici Whitrow, nici Milne nu dau pînă la urmă o *definiţie* a masei (ceea ce li s-ar putea pretinde, pentru că, după programul lor, toate conceptele ştiinţei trebuie definite). Masa apare astfel ca o proprietate contingentă adăugată monadei şi care aparţine de drept particulei neindividualizate luate ca centru metric. Altfel spus, dacă *principiul* inerţiei, în calitate de relaţie cinematică extinsă la dinamică, este fundamentat din punct de vedere epistemologic, *faptul* inerţiei, adică prezenţa coeficientului de inerţie în formule, care poate diferenţia corpurile unele de altele într-un fel care nu este spaţio-temporal, rămîne un fapt brut, ceea ce limitează domeniul reducerii epistemologice a dinamicii la cinematică. Dealtfel, poate că Milne şi Whitrow nu ar fi avut nimic de pierdut dacă ar fi recunoscut cu mai multă sinceritate ceea ce în definitiv nu este decît faptul — sortit mai mult ca oricare altul să rămînă „brut" — materialităţii Universului, sau, în alţi termeni, dacă ar fi recunoscut mai explicit faptul că nu se poate propune un model pentru Cosmos fără a introduce în acest model un concept, un principiu, un simbol destinat în mod special să exprime faptul că Universul este material. Se va spune că un lucru atît de evident nu are nevoie să fie exprimat. Dar, mai întîi, tehnicienii deducţiei ne-au învăţat că, în această artă, nimic nu vine de la sine şi, pe de altă parte, această recunoaştere explicită ar fi făcut să iasă mai bine în evidenţă acea remarcabilă originalitate a relativităţii cinematice în a discuta matematic despre *ego*, despre conştiinţa timpului pe care acesta o are, despre situaţia sa în spaţiu, despre mişcarea sa

în raport cu un alt *ego înainte* de a face presupunerea existenței maselor și fără a lăsa materialității lumii, acțiunii unui *ego* asupra altuia, decît posibilitatea discretă a unui *semnal.*

III. Monadologie metafizică și monadologie matematică. Ego-ul și fizica

Whitrow a spus deci foarte bine că una din marile noutăți epistemologice ale relativității cinematice a fost aceea de a defini mai întîi Universul ca o comunitate de monade care comunică între ele, înainte de a-l defini ca un sistem material. Regăsim deci într-un fel monadologia lui Leibniz, plus comunicarea efectivă a monadelor, geometria modernă și conceptul de invarianță, care ne permit să transformăm o construcție metafizică în teorie matematică. Recitite în perspectiva relativității cinematice, anumite texte ale lui Leibniz și, mai ales, anumite detalii ale corespondenței sale cu Clarke, par să capete o înfățișare nouă.

De exemplu, în cel de-al treilea răspuns, Clarke îi obiectează lui Leibniz că, în ipoteza timpului și spațiului relativ, Dumnezeu ar fi putut să creeze lumea cu milioane de ani mai înainte și să o extindă în linie dreaptă fără ca ceva să se fi schimbat, ceea ce Clarke găsește absurd. El adaugă : „În plus, timpul și spațiul sînt cantități, ceea ce nu se poate spune despre ordine și situație" [1].

Or, dacă în cea de-a patra scriere Leibniz răspunde parcă în glumă la prima obiecție a lui Clarke, despre ultima dintre ele nu spune nimic [2]. Este oare vorba de o simplă nebăgare de seamă, de o neglijență, sau tăcerea lui Leibniz este semnul unei reale încurcături ? În cel de-al patrulea răspuns, Clarke revine : „Nu a primit răspuns nici argumentul că spațiul și timpul sînt cantități, ceea ce nu se poate spune despre ordine și situație" [3]. De data aceasta Leibniz răspunde, dar răspunsul nu pare prea convingător : „Cît despre această obiecție, că spațiul și timpul sînt cantități, sau mai curînd lucruri dotate cu cantitate, și că ordinea și situația nu sînt deloc așa, răspund că ordinea are de asemenea o cantitate, este vorba de ceea ce precede și de ceea ce urmează, de distanță și de interval". Și pentru a dovedi că lucrurile relative „au cantitatea lor", Leibniz remarcă faptul că „rapoartele și proporțiile" sînt măsurate prin logaritmi [4].

---

[1] *Correspondance Leibniz-Clarke*, ed. Robinet, P.U.F., 1957, p. 69.
[2] *Ibid.*, pp. 87–88.
[3] *Ibid.*, p. 111.
[4] *Corespondance Leibniz-Clarke*, *op. cit.*, p. 150.

Dar aceste răspunsuri ocolesc adevărata problemă ridicată de obiecţia lui Clarke şi căreia este probabil imposibil să i se răspundă în mod satisfăcător fără concepte tehnice mai elaborate decît cele de care dispunea Leibniz, care totuşi a fost primul care a întrevăzut posibilitatea unei geometrii topologice. Căci nici Leibniz, nici Clarke nu puneau în discuţie unicitatea geometriei ; or, dacă axiomele euclidiene sînt considerate reprezentative pentru natura spaţiului, măsura mărimilor spaţiale, lungimea, aria, volumul şi, prin analogie, intervalul de timp, exprimă un absolut. Cum să se pună de acum înainte geometria în acord cu conceptul relativist sau „cripto-relativist" de spaţiu ca relaţie topologică între monade şi de moment ca delimitare între evenimente percepute de o aceeaşi monadă? Cum să se înţeleagă, pe de altă parte, fără ajutorul matematicii moderne, că o mulţime de puncte de vedere, deci de puncte, poate să aibă o măsură?

Dar, pentru a folosi expresiile lui Whitrow, în scurta obiecţie a lui Clarke care l-a încurcat atît de mult pe Leibniz, se impune cu toată forţa concepţia geometrică şi „parmenidiană" a Universului, împotriva căreia teza relativistă a lui Leibniz nu se poate complet afirma, pentru că domnia lui Euclid nu era încă încheiată.

Teoria relativităţii cinematice putea acum realiza ceea ce nu fusese posibil pentru Leibniz. Căci spaţiul nu este constituit cantitativ — geometrii au descoperit în cele din urmă acest fapt — decît relativ la axiome metrice care se pot stabili în mod convenţional. Pe de altă parte, dacă se admite, odată cu Milne, că percepérea timpului este topologică înainte de a fi metrică, timpul-cantitate va fi la rîndul său constituit în raport cu anumite convenţii. Măsura se constituie în spaţiul şi timpul propriu monadelor. Urzeala Universului este mai întîi ordine şi situaţie, dar poate *deveni* cantitate prin acordul între monade, în aşa fel încît relativitatea punctelor de vedere să poată fi depăşită fără a fi suprimată. Obiecţia lui Clarke încetează atunci să mai conteze, în pofida relativismului spaţiului şi timpului.

Dacă ne-am oprit atît de mult asupra acestui detaliu aparent secundar al corespondenţei dintre Leibniz şi Clarke, este pentru că odată cu teoria relativităţii restrînse, cu principiul de covarianţă al teoriei relativităţii generalizate şi, în sfîrşit, cu conceptul de echivalenţă al relativităţii cinematice, ştiinţa contemporană reînnoadă un fir al gîndirii leibniziene pe care cei mai iluştri succesori ai lui Leibniz nu îl reluaseră. Este demn de remarcat mai ales faptul că pluralitatea *ego*-urilor nu face obiectul nici unei încercări de analiză transcendentală din partea lui Kant, cel puţin în domeniul gîndirii speculative. Totuşi, în ceea ce priveşte posi-

bilitatea experienţei (şi nu numai realitatea sa), răspîndirea *subiecţilor* empirici în spaţiu nu are poate consecinţe mai mici decît răspîndirea în timp a reprezentărilor *subiectului* empiric. Ea impune poate concepte tot atît de îngrijit şi riguros definite ca şi categoriile a căror stabilire rezultă cu necesitate din situaţia gîndirii umane în raport cu timpul. Dar totul se petrece ca şi cum Kant ar considera că consensul dintre *ego*-uri ar ţine exclusiv de logica formală şi ca şi cum răspîndirea în spaţiu a comunităţii monadelor gînditoare nu ar fi suficientă pentru a face din acest consens o problemă care interesează logica transcendentală. În domeniul filozofiei practice, după cum se ştie, situaţia nu este exact aceeaşi, pentru că, de exemplu, conceptul de *drept* este definit pornind de la pluralitatea subiecţilor liberi şi pentru că ideea domniei scopurilor defineşte un fel de model transcendental al comunităţii empirice a oamenilor. Dar subiecţii-scopuri se definesc în perspectiva raţiunii şi nu în cea a intelectului, şi nu este deloc necesar ca membrii domniei scopurilor să fie concepuţi ca locuind în spaţiu.

Or, explorarea consecinţelor ultime ale faptului — sau ale axiomei — că lumina se transmite cu viteză finită, a condus în cele din urmă ştiinţa la analizarea unei probleme pe care Kant o neglijase şi la regăsirea în acest fel a acelui fir pierdut al gîndirii leibniziene. Ea nu a făcut-o fără ezitare şi fără rezerve. Ştiinţei îi place să înlăture, în descrierea obiectelor sale, orice subiectivitate, fie ea transcendentală. Nici intersubiectivitatea nu a fost primită cu mai mult entuziasm în teoria fizică şi rezerva cu care a fost întîmpinat la început Einstein a putut face să se creadă că ştiinţa modernă îi dădea cîştig de cauză lui Clarke împotriva lui Leibniz. Intersubiectivitatea a sfîrşit totuşi prin a intra în fizica teoretică, implicit odată cu relativitatea restrînsă şi explicit în teoria relativităţii generalizate sub forma principiului covarianţei, pe care îl putem numi pe drept cuvînt transcendental în sensul lui Kant, pentru că Einstein îl propune nu ca expresia unei proprietăţi a Universului în sine (*an sich*), ci ca pe un postulat al teoriei fizice. În ipoteza Universului „în sine", chiar enunţul său ar fi lipsit de sens; covarianţa ar rezulta de la sine, aşa cum susţine dealtfel Fock, ca materialist consecvent [1]. Enunţul principiului de covarianţă nu este neapărat necesar decît în măsura în care lumea fizică poate fi caracterizată ca un ansamblu de înfăţişări metrice diferite, fiecare relativă la un subiect situat în timp şi în spaţiu,

[1] V. A. FOCK, *Le Système de Ptolémée et le système de Copernic*, în *Questions scientifiques*, Ed. de la Nouvelle Critique, Paris, 1952, p. 151.

fără a fi posibilă o cunoaştere directă şi imediată a ceea ce stă la baza acestor înfăţişări. Pe de altă parte, principiul covarianţei nu poate fi considerat empiric, pentru că el defineşte o regulă şi determină, dacă nu conţinutul legilor (aceasta este valabil cel puţin pentru gîndirea relativistă „ortodoxă"), cel puţin forma lor (tensorială). Aceasta este deci o lege transcendentală a intersubiectivităţii, de unde neîncrederea pe care o inspiră anumitor oameni de ştiinţă, foarte ataşaţi de „realismul transcendental". Totuşi, un fizician atît de „ortodox" ca Tolman, chiar dacă consideră că principiul covarianţei nu impune nici o restricţie asupra naturii legilor, recunoaşte că principiul are, de fapt, un rol determinant în alegerea axiomelor teoriei fizice, pentru că el orientează alegerea în sensul celor mai simple enunţuri, simple nu raportate la anumite sisteme de referinţă, ci prin expresia lor covariantă, ceea ce nu este întotdeauna acelaşi lucru [1]. Dar Milne merge mult mai departe. Unul din punctele în care el se desparte de cosmologia relativistă „ortodoxă" este tocmai, aşa cum am mai spus, necesitatea unei deducţii cosmologice univoce, adică, de fapt, în întregime determinată de condiţiile transcendentale ale intersubiectivităţii raţionale. Am văzut că aceasta îl conduce la ideea leibniziană că Universul trebuie să fie descris ca o multiplicitate de *ego*-uri mai înainte de a fi descris ca un sistem material.

Pe scurt, cu o anumită reţinere la Einstein şi la relativiştii „clasici", mai ales la Milne şi Whitrow, în teoriile fizice relativiste o axiomatică a intersubiectivităţii a devenit inseparabilă de expresia matematică a structurii realităţii fizice. Consensul monadelor *în* Univers nu mai este de la sine înţeles, nu este garantat într-o măsură suficientă de acordul spiritelor asupra principiilor logice (pentru că acordul spiritelor în privinţa proprietăţilor, chiar şi a celor metrice, deci „obiective", ale obiectelor fizice, impune să se ţină seama de aşezarea lor spaţio-temporală); el nu mai este garantat cu necesitate nici de existenţa „în sine" a proprietăţilor raţionale ale Universului fizic.

În faţa acestei intervenţii a intersubiectivităţii în teoria fizică, eşti foarte tentat să stabileşti un anumit paralelism între această evoluţie pe care ştiinţa, pînă la Milne, a suferit-o poate mai curînd decît a dorit-o, şi întregul efort al filozofiei moderne pentru lărgirea, oarecum lateral, a relaţiei subiectului cu obiectul, a eului cu lumea şi pentru situarea raporturilor dintre „euri" la nivelul struc-

---

[1] R.C. TOLMAN, *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, Clarendon Press, Oxford, 1934, p. 167.

turilor fundamentale ale ființei și nu la acela al relațiilor empirice și al interacțiunilor naturale.

Se va spune că un astfel de paralelism este cu necesitate artificial și că Bergson, cu toate că de aici a scos argumente puțin convingătoare în favoarea simultaneității absolute, nu greșea atunci cînd spunea că „observatorii relativiști" din teoria fizică nu au mare lucru în comun cu fizicianul „real și viu", care îi introduce în reprezentarea sa despre lume. Dealtfel, interlocutorii săi relativiști erau în această privință dispuși să facă o serie de concesii. A. Metz, într-o notă din 1924, remarca de exemplu faptul că observatorii teoretici puteau fi înlocuiți cu instrumente de înregistrare; același autor insistă, într-un articol recent asupra necesității de a evita orice confuzie între acest observator teoretic — simplu sistem de coordonate — și fizicianul concret [1]. Aici Metz nu este prea departe de concesia finală care i-ar da dreptate lui Bergson și care ar consta din a spune că observatorul din teorie nu este numit astfel decît printr-un fel de abuz de limbaj sau de ficțiune matematică. Am fi atunci în drept, așa cum o face Bergson, să opunem absolutul unei simultaneități *reale*, trăită de ființe vii și gînditoare, dislocării „simbolice" a simultaneității, care nu ar avea sens decît în raport cu umbrele unor observatori instalați simbolic în Univers de către *un* observator, singurul real. Or, în lumina relativității cinematice, ni se pare că aici — mai mult decît în cîteva paralogisme regretabile — se situează adevărata lipsă de înțelegere a lui Bergson față de sensul gîndirii relativiste. Cu toate că ia forma inevitabil abstractă și schematică a tuturor obiectelor care intră într-o teorie fizică, intersubiectivitatea relativistă nu este fictivă, căci privilegiul acordat unui observator asupra celorlalți nu este decît aparent și acest observator, ales pentru comoditatea calculului sau impus de condițiile observației sau ale experienței, nu este nici mai mult nici mai puțin „real" decît ceilalți.

Trebuie să ne ferim aici de iluzia foarte firească pe care filozofii o suscită prin toate mijloacele iar fizicienii nu fac nimic pentru a o risipi, după care gîndirea fizicianului nu s-ar referi decît la entități schematizate, în timp ce în discursurile filozofului entitățile ar intra „în persoană". Un concept nu este niciodată identic cu ceea ce reprezintă, iar un discurs, la fel ca și un calcul, nu poate fi confundat cu obiectele la care se referă. *Ego*-ul de care vorbește filozoful este întotdeauna un *ego* în sensul filozofului, un εἶδος

---

[1] A. METZ, *Bergson, Einstein et les rélativistes*, în Archives de Philosophie, iulie-sept., 1959.

al *ego*-ului. Fizicianul „real şi viu" al lui Bergson nu este decît încă un mod de exprimare, căci autenticul fizician viu, cu bluza sa albă sau gri, cu amintirile sale de vacanţă şi cu necesităţile sale materiale, angajat în această cercetare, cu această idee confuză care mîine va deveni genială sau va reintra în neant, acesta care citeşte la acest aparat, în această zi ploioasă, rezultatul acestei măsurători, acesta scapă oricărei fenomenologii ca şi oricărei puneri în ecuaţie. Fizicianul „real şi viu" din *Durée et Simultanéité* este după Bergson o conştiinţă fluentă şi vie, care nu îşi capătă sensul decît în raport cu discursul lui Bergson. Nimeni nu s-ar fi îndoit, înainte de Milne, că el este mai ales un ceas, dar cine ar fi observat, înainte de Bergson, că el era o masă vie de amintiri, avînd forma unui con?...

Din faptul că urmăreşte să surprindă formele cele mai directe şi cele mai imediate ale experienţei, filozofia contemporană trage concluzia că conceptele sale sînt o reprezentare lipsită de distanţă, naivă, lipsită de ipoteză, de simbol, deloc aluzivă, dar intuitivă a „realului", a „concretului", a „imediatului", a „existentului". Această pretenţie este evidentă la Bergson, mai ales în *Durée et Simultanéité*, unde certitudinea timpului real şi unic este deseori prezentată ca imediată, la îndemînă [1]. Acestei opinii este foarte ispititor să-i opui stilul simbolic şi abstract atît de caracteristic limbajului ştiinţific.

Dar trebuie să ţinem seama că şi filozofia, inclusiv filozofia concretului, practică abstracţia, simbolul, ipoteza şi că ea elaborează faptul empiric brut la care se referă cercetarea sa. Relaţia dintre ştiinţă şi filozofie este identică aceleia dintre un discurs asupra realului şi un alt discurs asupra realului, şi nu dintre un discurs asupra realului şi realul „însuşi".

Aceste remarci nu urmăresc desigur să şteargă şi nici măcar să atenueze deosebirile dintre stilul discursului filozofic şi cel al discursului ştiinţific. Ele tind numai să facă să se admită faptul că, atunci cînd observatorul sau *ego*-ul intră în teoria fizică, ei nu îşi pierd în mod necesar — sub pretextul că o conştiinţă este ceva viu — tot ceea ce face ca un observator să fie un observator şi un *ego*, un *ego*. Bergson pare să considere ca evident faptul că, atunci cînd fizicianul introduce alţi observatori în reprezentarea sa despre lume, aceştia nu pot fi decît fiinţe virtuale, imaginare, „fantasmagorice". Sau, aşa cum spune tot el, într-un mod foarte fericit, atunci cînd un fizician plasează un observator în Univers, acesta nu poate fi decît un observator „la care se face o referire",

---

[1] H. BERGSON, *Durée et Simultanéité*, Félix Alcan, Paris, 1922, pp. 55—56.

şi nu unul „care referă" [1]. Dar există aici un fel de revers, căci fizicianul real nu este propriu-zis nicăieri. El se poate înlocui pe sine foarte bine, oriunde, printr-un instrument de măsură, iar aparatul automat care îl suplineşte pe observator în una sau alta din operaţiile sale nu reprezintă nici mai mult nici mai puţin un *ego* decît atomul care, în fotosfera companionului lui Sirius sau a unei alte stele hiperdense, reprezintă observatorul relativist al cărui ceas întîrzie faţă de ceasul terestru datorită plasării sale într-un cîmp gravitaţional intens. *Toţi* observatorii relativişti sînt deci în acelaşi timp „referiţi" şi „referenţi". Nici unul nu este „viu şi conştient" în sensul lui Bergson, dar totuşi toţi sînt *ego*-uri, în măsura în care fiecare corespunde unui centru de perspectivă şi unor unităţi de măsură, căci este imposibil să se dea un sens într-un mod riguros obiectiv unor concepte ca coordonatele, măsura, metrul sau ceasul. Un ceas nu este un om, dar nici un obiect nu se constituie ca ceas fără un *ego* „de referinţă" care măsoară timpul. Pămîntul, pe de o parte, şi atomul din fotosfera stelei, pe de altă parte, sînt şi unul şi altul ceasuri dacă şi numai dacă există undeva un observator care să-i considere pe unul sau pe celălalt, sau pe ambii ca ceasuri. Dar, va răspunde aici bergsonianul, un acelaşi observator citeşte de fapt ceasul terestru si ceasul stelar, iar acest observator se află pe Pămînt. Există deci un ceas obişnuit şi un altul care nu este, un ceas concret ci un ceas abstract, un ceas real şi un ceas simbolic. Este adevărat, dar întreg efortul gîndirii relativiste tinde, *cu toată* relativitatea spaţiului şi timpului, tocmai să diminueze importanţa faptului că un ceas este sau nu obişnuit şi a faptului că ora se citeşte întotdeauna pe un anumit ceas.

Căci pentru a măsura ceva, şi Bergson insistă pe bună dreptate asupra acestui lucru, trebuie să alegem bine coordonatele şi o unitate de măsură, deci să privilegiem un fizician, să facem dintr-un *ego* adevăratul „centru de referinţă". Dar tocmai aici se află problema şi soluţia relativistă; trebuie procedat astfel încît alegerea inevitabilă a unui sistem de referinţă, adică imposibilitatea, pentru fizician, de a se identifica cu un „supraobservator", aşa cum spune Eddington, avînd o conştiinţă cosmică, să nu împiedice satisfacerea exigenţei raţionale de obiectivitate. Singurul mijloc pentru aceasta este de a înţelege obiectivitatea ca o transpunere reglementată a măsurătorilor unui *ego* la cele ale altuia, ceea ce, în definitiv, conduce la constituirea Universului ca o pluralitate de monade. Lumea este întotdeauna lumea văzută de către o

---

[1] H. BERGSON, *op. cit.*, p. 111.

monadă, dar ceea ce deosebeşte Universul de un vis este faptul că viziunile monadelor, care sînt în mod necesar diferite, pot să se potrivească şi să se deducă unele din altele. Sîntem departe de situaţia în care observatorii cu care un observator anumit populează Universul sînt fantome; dimpotrivă, ei sînt aceia care împiedică Universul să fie fantomatic.

În teoriile relativiste „ortodoxe", toate acestea nu sînt încă decît implicite şi mai mult sau mai puţin ascunse. Dacă sensul şi valoarea tehnică a noţiunii de invarianţă sînt de mult timp binecunoscute, în schimb semnificaţia ei filozofică nu a fost poate pe deplin explicitată decît odată cu relativitatea cinematică. Cînd observăm acest lucru, nu putem să nu ne gîndim că, cu toate deosebirile dintre matematica intersubiectivităţii şi fenomenologia intersubiectivităţii, nu este o circumstanţă întîmplătoare şi lipsită de importanţă faptul că filozofia şi teoria fizică au fost conduse, independent, la descoperirea şi analizarea aceleiaşi structuri fundamentale : multiplicitatea *ego*-urilor, separate şi în acelaşi timp unite prin răspîndirea lor temporală şi spaţială, prin existenţa-situată şi existenţa-raportată, astfel că fiecare se simte ca cel la care se referă celelalte şi ca cel care le situează.

S-ar putea pune problema dacă filozofia lui Milne, în măsura în care ea comportă pe de o parte, cel puţin implicit, o teorie a intersubiectivităţii şi în măsura în care, pe de alta, pretinde că se bazează pe o reprezentare raţională a relaţiei lui Dumnezeu cu lumea, nu ascunde cumva o contradicţie de netrecut. Într-adevăr, definiţia *ego*-urilor şi a Universului ca comunitate de *ego*-uri ar putea foarte bine să se situeze dincolo de orice cosmo-teologie posibilă. Aceasta este o idee hipercritică, care dizolvă mai sigur decît antinomiile ideea totalităţii fenomenelor ca Univers al lucrurilor în sine. Dar, dacă este aşa, cum se poate concepe ca un Dumnezeu care transcende lumea să o poată gîndi raţional? I-ar trebui o cinematică fără coordonate şi o geometrie fără axiome şi fără operaţii. Dar care ar putea fi atunci obiectul unei ştiinţe absolute a spaţiului? În măsura în care geometria rămîne ştiinţa unei esenţe eterne a spaţiului, în care simultaneitatea este de drept în Univers, în care există un moment cosmic care se reconduce pe sine indefinit — sau, aşa cum vrea Bergson, o durată concretă care se întinde din aproape în aproape la totalitatea Cosmosului — omniştiinţa lui Dumnezeu poate rezuma şi înlocui privirile parţiale ale monadelor, suprimîndu-le. Teoria Universului poate tinde să depăşească orice punct de vedere şi să prezinte Universul *sub specie aeternitatis*. Dar, bine înţeleasă, intersubiectivitatea relativistă exclude posibilitatea de a da o reprezen-

tare despre lume care să nu fie cea a unei monade situată în timp şi în spaţiu. Teoria fizică nu este reprezentarea Universului aşa cum este el, ci descrierea procedeelor prin care monadele care îl populează pot să-şi pună de acord măsurătorile. Cel puţin aceasta este în primul rînd, dacă se acceptă că ea trebuie să urmeze programul definit de Milne şi Whitrow. În acest caz însă, relaţia Universului cu o înţelegere divină, adică o înţelegere care nu este cea a unei monade situate, devine greu inteligibilă şi această viziune a lumii exclude poate, de fapt, orice teologie raţională, mai mult chiar decît „materia necreată" a materialismului.

Dealtfel, în răspunsul său la atacurile lui Dingle împotriva „cosmolatriei" moderne [1], însuşi Whitrow dă o lovitură destul de serioasă concepţiilor teologice ale lui Milne. Una din cele trei reguli fundamentale ale cercetării ştiinţifice de la Copernic încoace, remarcă foarte potrivit Whitrow, a fost eliminarea progresivă a oricăror concepte antropocentrice. Această regulă şi-a găsit o aplicaţie, în particular, în principiul relativităţii, despre care „se poate spune în termeni generali că semnifică autonomia punctelor de vedere individuale în descrierea naturii". Consideră oare Whitrow că această autonomie este compatibilă cu dominaţia şi superviziunea înţelegerii divine asupra sistemului cosmic, cu teleologia principiului raţiunii suficiente, aşa cum o concepe Milne?

IV. Măsurarea timpului ca primă operaţiune metrică

Ceea ce constituie în definitiv principala originalitate a teoriei relativităţii cinematice este încercarea de a baza descrierea ştiinţifică, adică metrică, a Universului pe măsurarea timpului. Există aici un fel de paradox : simţul comun şi ştiinţa au fost întotdeauna de acord, cel puţin implicit, cu faptul că operaţia metrică cea mai simplă este măsurarea unei lungimi şi că aceasta constă în a face să coincidă extremităţile unei lungimi etalon cu cele ale lungimii de măsurat. Nu întîmplător, în Franţa cuvîntul metru a fost ales pentru a desemna unitatea de lungime promovată astfel în mod natural la rangul de unitate fundamentală. Desigur, în ideea că măsurarea unei lungimi este o operaţie simplă şi indiscutabilă există multe convenţii implicite, dar legitimitatea lor este totuşi mai puţin problematică decît axiomele indispensabile folosirii unui ceas.

---

[1] H. DINGLE, *Modern Aristotelianism*, Nature, 139, 1937, p. 784. Răspunsul lui Whitrow, *ibid.*, p. 1008.

Însăşi posibilitatea unei autentice măsurări a timpului a fost pusă în discuţie, cu mult timp în urmă, de sfîntul Augustin, iar filozofii moderni au revenit la această critică, în special Bergson şi, mai indirect, Whitehead. Aceşti autori nu contestă faptul că există ceasuri, nici că citirea ceasurilor are un sens; ei vor mai curînd să arate că în temporalitate, în „durată" după limbajul lui Bergson, în „trecere" după limbajul lui Whitehead, există ceva care scapă cu necesitate măsurării. Timpul măsurat este deci fie un aspect selecţionat al temporalităţii, fie un produs artificial, obţinut pentru nevoile analizei intelectuale, prin asimilare cu proprietăţi care aparţin ontologic nu timpului, ci spaţiului. Cauza ar fi aceea că temporalitatea depăşeşte natura şi aparţine în acelaşi timp, poate în mod mai esenţial, spiritului. Operaţiunile metrice, care se efectuează asupra lumii fizice, nu pot atinge timpul însuşi. Departe de a putea pune la baza metrologiei măsurarea timpului, incertitudinea care însoţeşte inevitabil această operaţie ar revela limitele dincolo de care „inteligenţa" sau „gîndirea", cu metodele lor cantitative şi exigenţele lor de exactitate, nu pot trece: temporalitatea le scapă în parte.

Or, Milne nu ignora deloc această filozofie şi într-un anumit fel i se alătură. Nu am găsit în operele sale nici o referire la Bergson, dar el cunoaşte obiecţia sfîntului Augustin — pe care adversarii săi i-au reamintit-o dealtfel — şi este atît de pus în gardă de analizele lui Whitehead, încît se sprijină pe autoritatea acestui filozof atunci cînd este vorba de a legitima procesul de abstractizare şi de trecere la limită care permite să se atingă evenimentul instantaneu plecînd de la ceea ce Whitehead numeşte *duration*, adică prezentul perceput efectiv şi care are întotdeauna o anumită întindere în timp.

Cu alte cuvinte, Milne nu considera că obiecţiile împotriva unei veritabile măsurări a timpului ar fi suficiente pentru a-l opri din acţiunea sa. În primul rînd, el este mai sensibil la idealismul augustinian, căruia consideră că îi face concesii convenabile, decît la empirismul metafizic al lui Whitehead, care rămîne profund incompatibil cu metoda raţionalistă a lui Milne. Cum poate fi împăcată pretenţia sa de a pătrunde în universul experienţei pornind de la un model matematic, cu ciudatele deschideri asupra necunoscutului pe care le găsim la Whitehead, în legătură cu „familiile de durate", adică, aproximativ, în legătură cu grupările posibile ale diverselor evenimente într-un acelaşi prezent[1]?

[1] „Este imposibil să meditezi asupra timpului şi asupra misterului trecerii creatoare a naturii fără a fi copleşit de emoţie la gîndul limitelor inteligenţei umane" (A. N. WHITEHEAD, *The Concept of Nature*, Cambridge U.P., 1920, p. 73).

Odată eliminată această deschidere — pe care Milne nici nu pare să o ia în considerație — către o experiență a timpului care s-ar situa dincolo de orice posibilitate, nu numai metrică, dar chiar și analitică, se poate admite că, în perspectiva lui Milne, obiecțiile împotriva măsurării timpului — și în consecință împotriva posibilității de a pune aceasta la baza tuturor operațiunilor metrice — rezultă dintr-un fel de neînțelegere : obiecțiile ar fi valabile în măsura în care ar viza o pretinsă experiență directă a „timpului uniform''. Aceasta este ceea ce vizează în orice caz obiecția sfîntului Augustin : compararea directă a două intervale de timp este imposibilă. Astfel, de exemplu, afirmația că intervalele de timp care separă două treceri succesive oarecare ale aceleiași stele la meridianul unui loc (sau ale Pămîntului la periheliul său) sînt egale nu este nici enunțul unui fapt, nici o presupunere care s-ar putea verifica, ci o axiomă. Dar aceasta nu împiedică să se pună la baza măsurării timpului o experiență mai imediată și mai primordială decît orice altă operație metrică: este suficient să facem distincția între experiența imediată a timpului, care este cea a unei relații care poate fi stabilită intuitiv între două elemente percepute, și determinarea unei scări metrice, care depinde de axiome al căror enunț presupune intersubiectivitate. Milne se străduiește deci să înlăture neînțelegerea și crede că a reușit tocmai în acest mod și fără îndoială acesta este motivul pentru care obiecția sfîntului Augustin nu-l deranjează, iar citirea lui Whitehead nu-l tulbură. Retrospectiv, metoda sa scoate în evidență limitele analizei lui Bergson. Atașat cu încăpățînare ideii că durata trăită este indivizibilă (principiu contrazis dealtfel de experiența cea mai familiară, pentru că fulgerarea, evenimentul, surpriza, începutul și sfîrșitul, care fac desigur parte din experiența trăită a timpului, apar ca discontinuitate și ruptură), atașat acestui principiu al duratei indivizibile în întinderea sa concentrată, lui Bergson îi lipsește distincția între metrica și topologia timpului, între conștiința relației înainte-după și măsurarea intervalului.

Faptul că Milne, aparent fără s-o știe, l-a contrazis pe Bergson în punctul cel mai slab al descrierilor sale nu este totuși suficient pentru a dovedi că el a avut dreptate să pretindă că poate baza toate operațiile metrice pe măsurarea timpului.

Cu siguranță, acesta este punctul cel mai important, dar totodată și cel mai dificil, în legătură cu care se poate aprecia valoarea conceptelor relativității cinematice. Milne, care nu a dus niciodată lipsă de critici, a fost criticat printre alții și de Dingle, care afirmă că dat fiind modul în care el abordează pro-

blema fundamentării metrologiei „nu poate să reuşească"[1]. Principala obiecţie a lui Dingle (a cărui intenţie este, dealtfel, nu de a-l critica pe Milne, ci de a apăra propria sa concepţie asupra măsurării timpului) este următoarea : cu toate că Milne pretinde a construi plecînd de la citiri directe ale timpului cele două funcţii „epocă-distanţă" şi „mersul-ceasurilor", teoria sa nu furnizează posibilitatea efectuării unei adevărate măsurători a mărimilor cinematice. Într-adevăr, ea nu permite o distincţie strictă între mişcarea relativă şi repausul relativ, distincţie pe care totuşi experienţa o impune. Să părăsim pentru moment critica lui Dingle pentru a ne opri puţin asupra acestui punct. Este adevărat că în această privinţă există, în teoria lui Milne, ceva ciudat. Pentru a relua un exemplu folosit în alte scopuri în discuţiile mai vechi asupra relativităţii, dacă un automobil se ciocneşte de un pom, se poate oare găsi un sistem de coordonate şi o definiţie a fenomenelor fizice care să permită să se înţeleagă ceea ce s-a întîmplat, presupunînd în acelaşi timp că pomul şi automobilul au fost tot timpul în repaus relativ? Valoarea acestei obiecţii este însă nulă, pentru că scările de timp nu sînt definite decît în raport cu observatorii fundamentali ai *substratum*-ului, care formează cadrul de referinţă al Universului, dar nu-i epuizează conţinutul. Numai mişcările relative ale acestor observatori sînt susceptibile să se transforme în repaus relativ printr-o reetalonare convenabilă a ceasurilor. Ne putem atunci întreba : ce s-ar întîmpla dacă funcţia generatoare a echivalenţei ar face să apară o mişcare de contracţie a *substratum*-ului, astfel încît observatorii să pară că se apropie? Ce s-ar întîmpla în momentul în care aceştia s-ar ciocni? Milne aminteşte această obiecţie pe care o consideră frivolă (*frivolous*)[2]. Într-adevăr, din definiţia observatorilor echivalenţi rezultă că, dacă doi dintre ei coincid, coincid toţi. Ciocnirea finală nu poate fi deci decît un eveniment unic, o singularitate, un „sfîrşit al lumii", care ar scăpa oricărei descrieri, exact ca şi creaţia în echivalenţa t. Dealtfel, echivalenţa t, singura care prezintă un oarecare interes pentru înţelegerea Universului real, este de fapt un sistem în expansiune şi reetalonarea de la t la τ nu prezintă nici un inconvenient de acest gen.

Să revenim la Dingle, a cărui analiză este bazată pe următoarea precizare : o măsurare a timpului, spre deosebire de oricare alta, se referă la mulţimi de elemente care sînt *în mod necesar*

---

[1] H. DINGLE, *The Function of Time Measurement In Modern Physics, op. cit.* Comptes rendus du Symposium de Bruxelles, 1947.

[2] *Kinematic Relativity, op. cit.*, p. 225.

nesimultane. Există însă două feluri de elemente care corespund acestei condiţii :

1. Evenimente simple, care nu au nici o altă proprietate decît aceea de a aparţine unei secvenţe temporale, de exemplu tic-tac-urile succesive ale ceasului.

2. Evenimente care pot fi deosebite luînd în consideraţie o altă mărime, aşa cum sînt, *între altele*, poziţiile succesive ale unui mobil. După Dingle, eroarea lui Milne rezidă în pretenţia de a fundamenta măsurarea timpului pe reperarea unor evenimente care fac parte exclusiv din prima categorie. În ceea ce-l priveşte, Dingle consideră că este imposibil, că trebuie să se facă apel la serii de evenimente care să aparţină celei de-a doua categorii, fără ca aceste evenimente să fie totuşi neapărat reperabile sub raport spaţial. Dingle afirmă că poate propune un sistem de măsurare a timpului în care lucrurile nu s-ar petrece astfel.

Obiecţia lui Dingle ni se pare interesantă în măsura în care pune implicit o problemă mai generală : dacă putem regăsi obiectivitatea metrică reducînd experienţa pe care monada o are despre realitate la aspectul ei cel mai subiectiv. Evenimentele din prima categorie a lui Dingle se reduc la impresii încercate şi distinse de către *ego* numai sub raportul succesiunii, ceea ce le privează de orice subiectivitate.

Aici ni se pare că se află adevărata problemă. Poate fi măsurarea timpului constituită şi, cu atît mai mult, poate ea servi drept bază altor operaţiuni metrice, fără referire la vreo regularitate obiectivă, stabilită explicit? Altfel spus, putem măsura timpul fără a presupune o ordine a lumii la care să ne acordăm instrumentele? A o contesta ar însemna evident a arunca o îndoială serioasă asupra valorii metodei lui Milne. Or, la o privire mai atentă, ne putem într-adevăr întreba dacă Milne nu introduce, încă de la început, unele postulate fără de care axiomatica sa ar fi lipsită de semnificaţie.

În acest punct, discuţia devine delicată : *ego*-ul de care este vorba în teorie nu este o persoană concretă, el nu poate fi identificat cu „eul'' aşa cum îl înţelege psihologia, tot aşa cum *substratum*-ul nu poate fi identificat cu Universul real. Din însăşi mărturisirea lui Milne, rezultă că descrierea pe care el a dat-o operaţiei fundamentale prin care monada stabileşte între două evenimente relaţia înainte-după este o „simplificare excesivă'' a modului în care un observator real capătă conştiinţa efectivă a timpului. Dar pe drept cuvînt Milne invocă precedente foarte onorabile, ca punctele geometriei şi „particulele'' fizicii.

Pe de altă parte, este desigur firesc ca, atunci cînd vorbește de *ego*, de trecerea timpului, de relația înainte-după, de punct-eveniment, concepte care nu pot fi definite, Milne să facă aluzie la vreun domeniu suficient de bine cunoscut al experienței pentru ca toată lumea să se poată pune de acord asupra lui. Acesta este domeniul care se referă la temporalitate. Chiar limitîndu-l la conștiința prezentului luat așa cum este, acesta este un cîmp de fenomene extrem de bogat și de complex; în interiorul lui, Milne operează o selecție. Dar problema este următoarea: ceea ce reține el explicit nu este oare prea sărac pentru a rezulta de aici tot ceea ce pretinde el?

Ego-ul, spune el, stabilește o relație înainte-după între evenimente și obține astfel o mulțime continuă de evenimente pe care o poate pune în mod arbitrar în corespondență cu numerele reale. Pentru ca acest lucru să poată fi posibil, trebuie să se obțină, pornind de la experiența concretă a prezentului, evenimentul punctual. Or, aceasta presupune de fapt două operații de abstractizare, iar Milne nu are în vedere în mod explicit decît una, prima dintre ele: prezentul are o anumită întindere a duratei, evenimentele prezente se încalecă unele pe altele, iar prezentul punctual se obține prin întrepătrunderea unor prezenturi din ce în ce mai mici, la limită. Această operație a fost descrisă cu meticulozitate de către Whitehead, pentru care ea asigură legătura între simultaneitatea cu „grosime" din punct de vedere temporal, aparținînd „naturii" și care se dezvăluie în percepția sensibilă (*sense awareness*), și momentul lipsit de întindere, produs al analizei, care răspunde exigenței de exactitate caracteristică gîndirii (*thought*). Dar, la Milne, această primă operație de abstractizare ascunde o a doua operație, care constă din separarea *unui eveniment singular* din totalitatea infinit variată care formează conținutul prezentului pentru o conștiință, atît de concentrată încît durata acestui prezent poate fi imaginată. În aluzia făcută de Milne la adresa procesului de abstractizare descris de Whitehead există un oarecare echivoc. Într-adevăr, atunci cînd acest filozof vorbește de *duration*, el nu înțelege prin aceasta o serie temporală de evenimente separate, căci termenul *duration* se definește „printr-un anumit tot al naturii care nu este limitat decît de proprietatea de a fi o simultaneitate", acest ultim cuvînt neavînd sensul riguros pe care i-l dă știința, ci sensul mai larg de prezent. Aceasta, spune Whitehead, este „o felie a naturii, limitată de simultaneitate, care este un factor esențial dezvăluit în percepția sensibilă" [1].

---

[1] A. N. WHITEHEAD, *The Concept of Nature, op. cit.*, p. 53.

Or, dacă momentul obținut prin abstractizare, prin întrepătrunderea unele în celelalte a unor prezenturi din ce în ce mai puțin întinse din punct de vedere temporal, devine lipsit de grosime, el nu își pierde totuși total aspectul de prezent. În prezentul trăit, chiar transformat în moment, totalitatea naturii este dată cel puțin în mod ideal. Acest ideal al întregii naturi la un moment dat este, desigur, idealul unei non-realități (*non-entity*), dar important pentru noi este că momentul, definit de Whitehead pornind de la prezentul percepției sensibile, rămîne total și nu implică diferențierea realității observate.

Dar cum trebuie oare să-l înțelegem pe Milne atunci cînd vorbește de corelația pe care un observator o poate stabili între continuum-ul evenimentelor, pe de o parte, și mulțimea numerelor reale, pe de alta, prin interpolarea între două evenimente efectiv observate? Trebuie oare să înțelegem că evenimentele la care se referă Milne sînt acele momente obținute prin subțierea prezenturilor trăite, întrepătrunse unele în altele? Nu există aici nici o absurditate, dar, în această interpretare, este clar că încetăm să ne mai referim la vreun tip cunoscut de experiență. Într-adevăr, reperarea timpului poate foarte bine să fie o operație care să nu implice la originea ei nici un postulat metric, dar ea implică perceperea evenimentelor separate, adică izolate în totalitatea prezentului, oricît de subțiat ar fi acest prezent. Operației descrise de Whitehead trebuie deci să-i adăugăm o altă operație, care constă din „descojirea" evenimentului pînă la a-l face, nu numai instantaneu, ci simplu și singular.

În actele efective ale conștiinței, s-ar putea ca cele două operații să fie inseparabile și să rezulte din același proces de focalizare, mulțumită căruia evenimentul pregătit prin așteptare se izolează și devine apt să intre în coincidență.

Dar, dacă lucrurile stau așa, adică dacă corelația dintre numere și evenimente presupune evenimente distincte, atunci se pune și problema alegerii criteriului de selectare a acestor evenimente. Pentru ca niște evenimente distincte să poată fi numărate, trebuie ca ele să formeze o serie, o clasă, căci pentru ca numărătoarea să decurgă de la prezent la prezent, trebuie ca evenimentul pe care urmează să-l distingem să poată fi recunoscut, chiar anticipat. Tocmai pentru că prezentul este global, se poate discerne tot ceea ce se produce și se reînnoiește fără încetare în el, dar nimic nu este distins cu necesitate; este deci necesar un criteriu care să permită recunoașterea elementelor seriei de numărat. Pentru ca, din conștiința imediată a „trecerii", pe care i-o presupunem, *ego*-ul să poată scoate un ceas, chiar arbitrar etalonat, îi trebuie

deci un principiu de selecţie care să-i permită să discearnă, în totalitatea vie a „naturii" (în sensul lui Whitehead), o secvenţă distinctă şi continuă. Numai cu elementele unei astfel de secvenţe — şi nu cu secţiunile instantanee în prezentul total — ar putea fi puse în corespondenţă numerele. Dar cum se poate distinge în experienţa *ego*-ului o secvenţă definită, dacă nu prin referire la repetiţiile periodice de evenimente omogene sau identice, cum sînt mişcarea aştrilor, oscilaţia pendulului sau bătaia pulsului? Răspunsul care îl decepţiona pe sfîntul Augustin, acela că măsura timpului este cea a mişcării aştrilor, este poate inevitabil. Dacă timpul este măsurabil, aceasta este poate pentru că ordinea lumii i se oferă monadei, într-un mod care rămîne a fi înţeles, din momentul în care aceasta caută să introducă în experienţa sa cea mai elementară ordine posibilă, aceea a succesiunii reglementare.

S-ar putea face remarci analoage cu cele precedente în legătură cu constituirea „funcţiilor-semnal" : observatorul *B*, spune Milne, face ca valorilor t_i pe care el le citeşte pe ceasul lui *A* să le corespundă valorile t'_i citite pe propriul său ceas ; dar dacă ceasul lui *A* este etalonat arbitrar, acest procedeu nu îi va permite niciodată lui *B* să construiască vreo funcţie. Observaţiile deja făcute se vor putea prelungi întotdeauna spre viitor într-o infinitate de moduri, pentru că aprioric nu este previzibilă nici o regularitate în funcţionarea ceasului lui *A*, în afară de aceea că el merge încontinuu şi nu se întoarce niciodată înapoi. Pentru ca *B* să-şi poată construi efectiv funcţia, ar trebui să cunoască secvenţa de evenimente de la care a pornit *A* cînd şi-a ales ceasul şi legea pe care *A* a ales-o arbitrar pentru corespondenţa dintre elementele acestei secvenţe şi mulţimea numerelor. Or, privind cu atenţie, este probabil ca aceste condiţii să nu poată fi îndeplinite decît dacă *B* ar putea avea acces direct la secvenţa obiectivă care i-a servit lui *A* pentru a-şi stabili ceasul şi dacă această secvenţă, prin propriile sale caracteristici, ar sugera de la sine un anumit tip de lege.

S-ar putea deci ca proiectul lui Milne să fi fost prea ambiţios şi ca în principiul empirist după care regularităţile cosmice se constată şi nu se construiesc să existe mai mult adevăr decît credea el.

Dealtfel, aceasta nu are probabil o importanţă prea mare, pentru că de fapt Milne nu reţine decît două scări ale timpului.

Această dualitate a timpului este dealtfel trăsătura cea mai bine cunoscută a relativităţii cinematice şi ea oferă reflecţiei, ca şi criticii, posibilităţi infinite, pe toate planurile — ştiinţific, epistemologic şi filozofic.

Ne vom mărgini la cîteva remarci care să le completeze pe cele făcute pînă acum cu privire la acest subiect. Mai întîi aceea că evidenţierea scărilor *t* şi τ este prea frumoasă din punct de vedere metafizic pentru a nu fi suspectă din punct de vedere ştiinţific. Într-adevăr, ea deschide în mod aproape miraculos calea soluţiei unor probleme tradiţionale. De exemplu, dacă timpul τ este chiar cel al mecanicii, atunci nu este de mirare că ireversibilitatea nu apare în reprezentarea pe care această ştiinţă o dă fenomenelor; dacă timpul variază de la minus la plus infinit, orice moment este centru de simetrie pentru toate celelalte momente şi timpul se citeşte în ambele sensuri; dacă există ireversibilitate, ea se află în conţinut, nu în formă. Scara τ ascunde însă un lucru pe care scara *t* îl scoate în evidenţă: unicitatea direcţiei timpului şi asimetria esenţială a structurii temporale, pentru că, în această scară, Universul are un viitor infinit şi un trecut finit [1]. După cum ne situăm într-o perspectivă sau în alta, cursul lucrurilor va apărea fie reversibil, fie ireversibil.

Dacă, pe de altă parte, confruntăm cele două scări ale lui Milne cu prima antinomie kantiană, vom observa că timpul *t* ar putea să corespundă tezei, iar timpul τ antitezei. Dacă notăm însă că filozofia tezei este raţionalismul metafizic, iar cea a antitezei materialismul, vedem că Milne îşi sprijină într-un anumit mod soluţia critică pe un procedeu matematic, dar că el salvează mai bine decît Kant „interesul raţiunii" care este, pentru el mai mult decît pentru Kant, de partea tezei.

Căci, în sistemul lui Milne, aşa cum am arătat, timpul *t* este mai „adevărat" decît celălalt din mai multe motive: din punct de vedere matematic, el corespunde celei mai simple funcţii generatoare şi nu presupune introducerea nici unei constante în expresia acestei funcţii; din punct de vedere cosmologic, el exprimă direct fenomenul cosmic cel mai grandios, expansiunea galaxiilor; iar din punct de vedere metafizic, el scoate în evidenţă creaţia. Punerea în lumină a celor două scări de timp capătă deci la Milne, în mod secret, sensul unei restaurări, al unei reînvieri triumfale a Universului teologic în ştiinţă, al unei victorii asupra scientismului ateu, care îşi reprezintă Universul ca şi cum scara τ ar fi singura posibilă.

---

[1] Milne nu a elaborat matematic consecinţele termodinamice ale ipotezelor sale cosmologice. El crede totuşi că reprezentarea Universului în scara *t* exclude posibilitatea unei „stări finale", datorită relativităţii măsurării timpului, care face neinteligibilă îmbătrînirea Universului în totalitatea sa. Argumentaţia lui Milne în această privinţă, care apare în *Modern Cosmology*..., cap X, este elegantă, dar nu ni se pare absolut convingătoare.

Trebuie să recunoaștem că valoarea distincției dintre cele două scări este mai puțin strălucitoare dacă o considerăm sub aspect fizic. Fără îndoială, din punct de vedere cosmologic, ea are avantajul de a elimina elegant dificultatea scării timpului: timpul fiind infinit în scara τ, care este cea a dinamicii, apropierea „creației" încetează să fie incompatibilă cu geneza marilor ansambluri cosmice. Totuși, în afara faptului că dificultatea nu mai este atît de acută după revizuirea scării distanțelor intergalactice, soluția este poate mai mult aparentă decît reală. Mecanica statistică nu mai este singura care cere, pentru procesele cosmice, intervale de timp suficient de lungi. Într-adevăr, durata evoluției stelelor se poate determina folosind legile fizicii nucleare. Or, în teoria lui Milne, măsurătorile relative la duratele proceselor nucleare se raportează la scara t.

Ceea ce face ca ideea celor două scări ale timpului să fie atrăgătoare este faptul că ea oferă un fel de explicație pentru lipsa de paralelism — binecunoscută — între progresele celor două mari teorii ale fizicii clasice: dinamica și electromagnetismul. Dacă într-adevăr variabila t nu are același sens în ecuațiile din cele două teorii, nu este de mirare că proprietățile lor formale nu sînt aceleași.

Dar în fond, de ce nu este vorba de aceeași variabilă? Care este originea acestei erori a fizicienilor, care, fără să-și dea seama, ar fi schimbat scara timpului extinzînd la electromagnetism metodele matematice folosite în construirea dinamicii? Proiectarea asupra dezvoltării istorice a teoriilor a unei distincții impuse mai întîi axiomatic face ca această dezvoltare să apară foarte enigmatică, avînd în vedere că fizica experimentală nu s-a servit, pînă în epoca contemporană, decît de un singur tip de ceasuri, ceasurile mecanice etalonate după mișcările cosmice... La aceasta se adaugă probabil dificultăți teoretice mai precise. Hill observă că, datorită faptului că structura grupului de simetrie care stă la baza teoriei lui Milne nu poate fi alterată de o schimbare de coordonate, pare dificil să se susțină că grupul omogen cu șase parametri din scara t se poate transforma în acest mod în grupul cu zece parametri din teoria newtoniană [1].

Evidențierea celor două scări ale timpului creează deci de fapt o foarte mare dificultate atunci cînd ne punem întrebări asupra raportului dintre teoria cosmologică și fizica bazată pe experiența terestră. Acesta nu este dealtfel decît un aspect particular al obsta-

[1] E. L. HILL, Recenzia lucrării *Kinematic Relativity*, Astrophys. J., 110, 1949, pp. 99–101.

colului pe care Milne îl ridică între fizica sa şi fizica obişnuită, refuzînd să pună măsurarea lungimii cel puţin la acelaşi nivel cu măsurarea timpului în ceea ce priveşte caracterul lor imediat, ca şi cum manipularea solidelor şi, mai general, experienţa directă a corpului propriu în ceea ce priveşte mediul înconjurător, nu ar fi surse autentice ale cunoaşterii fizice.

C. Posibilităţile şi limitele metodei deductive în cosmologie după H. P. Robertson

Deşi au fost publicate la puţin timp după *Relativity, Gravitation and World-Structure*, adică la o dată la care relativitatea cinematică nu îşi atinsese maturitatea, cele trei memorii detaliate ale lui H. P. Robertson cu tema *Cinematică şi structură cosmică*[1] ne permit ca întorcîndu-ne înapoi să tragem, pe plan tehnic, concluziile încercării lui Milne şi să înţelegem tranziţia dintre această etapă importantă din mişcarea gîndirii cosmologice şi etapele care au urmat.

Într-o anumită măsură, Milne a ţinut cont de aceste memorii, cu toate că el nu a făcut nici un împrumut direct de la ele şi nici măcar nu le-a citat în bibliografia cărţii *Kinematic Relativity*. Se pare că, în ochii săi, Robertson era prea legat de „ortodoxism". Dar Walker, care făcea parte din grupul lui Milne, ajunsese, în aceeaşi perioadă şi independent de Robertson, la rezultate analoage, pe care Milne nu putea şi nici nu voia să le ignore.

Ceea ce constituie interesul discuţiei lui Robertson nu este faptul că ar fi denunţat în teoria lui Milne vreun paralogism indiscutabil sau că ar fi depistat vreo ipoteză *ad hoc*. El nu se preocupa de aşa ceva şi Milne a avut dealtfel tot răgazul să precizeze, să corijeze sau să expliciteze tot ce considera necesar în prima versiune a teoriei sale, în aşa fel încît ceea ce rămîne (practic totul) a fost lăsat în mod intenţionat în această stare.

Ceea ce a făcut Robertson este mai mult pozitiv decît critic. El a arătat la ce rezultate indiscutabile conduc metoda şi principiile lui Milne atunci cînd sînt aplicate, cu mijloacele matematice cele mai bine adaptate, de către un spirit liber de orice prejudecată filozofică — ca să nu spunem de orice interes — destul de indiferent faţă de confruntarea teoriei cu observaţia şi preocupat înainte de orice de claritatea axiomatică, de siguranţa matematică

---

[1] H. P. ROBERTSON, *Kinematics and World-Structure*, Astrophys. J. I, 82, 1935, pp. 284—300; II, 83, 1936, pp. 187—201; III, 83, 1936, pp. 257—271.

şi de rigoarea formală. Robertson nu este de fapt nici filozof, nici fizician, nici astronom, ci un logician şi un matematician a cărui fineţe şi excepţională erudiţie ne trezesc regretul că la acestea nu s-a adăugat şi o capacitate de invenţie comparabilă, care să-i transforme talentul în geniu.

Sub privirea lui Robertson, marile idei ale lui Milne îşi pierd puţin din aura lor metafizică pentru a căpăta o semnificaţie strict axiomatică. Matematicianul de la Princeton vede teoria cinematică dominată de principiul cosmologic şi condusă în progresul său de ceea ce el numeşte „metodologia operaţională a lui Milne", aceea care reduce din principiu cunoaşterea empirică posibilă a Universului la cea care poate fi dobîndită de observatori situaţi în puncte oarecare, dotaţi cu ceasuri şi cu teodolite şi care pot schimba între ei semnale luminoase. În virtutea principiului cosmologic, fiecare dintre aceşti observatori — cel puţin fiecare dintre cei care aparţin unei anumite clase de observatori fundamentali — trebuie să aibă aceeaşi vedere asupra Universului ca şi ceilalţi, cu toate că nu este exclus ca înfăţişarea lumii, pentru un observator dat, să se schimbe în timp de la un moment la altul.

Pornind de aici, Robertson încearcă să construiască geometria Universului împingînd deducţia cît mai departe posibil fără a apela la ipoteze suplimentare. Instrumentul matematic esenţial este, cel puţin la început, teoria grupurilor continue de transformări. După ce aminteşte principiile şi rezultatele cosmologiei relativiste, Robertson îşi dezvoltă argumentaţia în trei etape care sînt, dealtfel, identice cu cele ale lui Milne.

1. Definirea spaţiu-timp-ului idealizat (*substratum*-ul lui Milne), adică a sistemului observatorilor fundamentali; forma metricii cu necesitate riemanniană, cu signatura spaţiu-timp-ului Minkowski, rezultă din principii.

2. Dacă se introduce în sistem o particulă de probă liberă, adică nelegată de un observator fundamental, care va fi mişcarea sa? Răspunsul comportă nişte limite de nedeterminare suficient de mari pentru a fi compatibil cu mai multe teorii asupra gravitaţiei.

3. Definirea sistemelor statistice de particule, încercînd determinarea completă a acestor sisteme, introducînd succesiv mai multe teorii ale gravitaţiei.

Punînd în lumină rezultatele cele mai semnificative din punct de vedere epistemologic şi istoric, putem nota că:

1. Robertson demonstrează că „metodologia operaţională" şi principiul cosmologic lasă de fapt problema cinematicii *substratum*-ului cosmic mult mai nedeterminată decît lasă Milne să se creadă, chiar atunci cînd ia în consideraţie (ceea ce nu era

cazul încă în momentul în care Robertson își scria memoriile) posibilitatea unei scări duble a timpului. Deci, fie pentru că Milne nu a dat raționamentului său întreaga generalitate care ar fi fost de dorit (se pare că acesta este cazul pentru trecerea de la echivalența liniară la echivalența tridimensională [1]), fie pentru că a introdus ipoteze suplimentare, de exemplu aceea că traiectoriile de univers ale tuturor observatorilor fundamentali se întîlnesc într-un punct unic în trecut, *unicitatea* riguroasă a modelului cinematic, de care Walker era atît de mîndru, rezultă în parte din împrumuturi făcute de la observație sau din postulate inspirate din surse mai puțin pure decît principiul cosmologic sau conceptul de echivalență.

Cu toate că polemica nu îi stă în fire, Robertson le întoarce cosmologilor cinematici gestul de politețe pe care aceștia il avuseseră față de cosmologia relativistă reconstituind Universul newtonian. Reiese deci că, dacă alegerea metodei deductive transformă desigur perspectiva, ea nu deschide în mod necesar calea unei soluții mai ușor și mai complet determinabilă decît cea oferită de metoda inductivă sau de cea cvasiinductivă ale cosmologiei relativiste.

2. Aceasta ne conduce la un rezultat mai instructiv al lui Robertson. Dacă se aplică metoda operațională în toată generalitatea sa, se constată că ea conduce inevitabil, în ce privește geometria spațiu-timp-ului, la *a*) o metrică riemanniană (pentru că discuția pune în evidență forma invariantă ds^2), care *b*) are exact aceeași formă și același grad de generalitate ca cea care se impune în cosmologia relativistă. Astfel, analiza lui Robertson face să reiasă un motiv epistemologic profund al succesului ipotezei lui Einstein, că metrica spațiu-timp-ului trebuie în orice caz să fie considerată riemanniană. Această analiză arată apoi că, oricare ar fi drumul pe care îl alege, gîndirea cosmologică este obligată să parcurgă anumite căi matematice dacă Universul — și cunoașterea Universului — trebuie să satisfacă, primul anumite condiții de uniformitate și regularitate, iar cel de-al doilea, anumite condiții de invarianță și comunicabilitate.

În deducția lui Robertson, necesitatea ca forma spațio-temporală invariantă să fie pătratică pare legată într-un mod foarte elementar de proprietățile luminii. Referindu-ne la diagrama lui Robertson [2], vedem că punctul-eveniment *E* este legat de linia

---

[1] Vezi mai sus, p. 136.

[2] Memoriile citate; I, p. 289. Diagrama este reprodusă în Anexă, p. 495; comparînd simplitatea acestei diagrame cu dificultatea dezvoltărilor date de Milne noțiunii de echivalență, ne dăm mai bine seama de ce facilități se lipsește acesta refuzînd spațiul-timp. Vezi mai jos, p. 493.

de univers OA a observatorului fundamental A prin *două* raze luminoase, una t_1E, care pleacă din A, iar cealaltă Et_2, care vine spre A. Or, pe suprafaţa spaţio-temporală generată de mulţimea unor linii de univers cum sînt OA, OA'..., ecuaţia unei raze luminoase de primul tip se scrie $t_1 = \text{const}$ sau $t_1' = \text{const}$, iar cea a unei raze de tipul al doilea se scrie $t_2 = \text{const}$ sau $t_2' = \text{const}$, după observatorul care o reperează. Dacă se consideră mulţimea punctelor-evenimente E ca un *continuum*, condiţia pentru ca o linie să fie o rază luminoasă oarecare, dintr-o familie sau alta, se va scrie : $dt_1\, dt_2 = dt_1'\, dt_2' = 0$. Or, după „metodologia operaţională", sistemele de coordonate prin care observatorii fundamentali reperează mulţimea punctelor-evenimente E sînt stabilite pornind de la măsurători locale de timp, cum sînt t_1, t_2, t_1', t_2',... Pe de altă parte, principiul cosmologic impune că pentru orice A şi pentru orice A', coordonatele se transformă de la A la A' după o lege de grup. De aici rezultă destul de uşor că condiţia locală $dt_1\, dt_2 = 0$ duce la condiţia general invariantă $ds^2 = 0$ pentru traiectoriile luminii, ds^2 fiind o formă pătratică construită pornind de la coordonate.

Or, acest raţionament — pe care bineînţeles noi l-am simplificat mult — completează, pentru structura metrică „spaţiu-timp", concluziile lui Helmholtz şi Lie asupra structurii metrice „spaţiu". Dacă măsurarea fizică trebuie să fie judicios fundamentată, necesitatea unei forme pătratice invariante se impune deci şi într-un caz şi în altul. Discuţia lui Lie impune dealtfel condiţii mult mai restrictive pentru ds^2 spaţial ; analog, discuţia lui Robertson impune condiţia ca ds^2 spaţio-temporal să nu mai fie pozitiv definită. Astfel, pornind de la ipoteze plauzibile şi puţin numeroase se regăseşte aprioric o parte din ceea ce teoria einsteiniană a relativităţii, restrînsă şi generalizată, introdusese în fizică, în ceea ce priveşte structura geometrică a Universului şi cinematica luminii.

3. Robertson pretinde să stabilească, acesta fiind dealtfel punctul în care el se deosebeşte categoric de Milne, faptul că legea de mişcare a particulei de probă în prezenţa *substratum*-ului rămîne mult mai nedeterminată decît o spune Milne, dacă ne limităm strict la metodologia operaţională şi la principiul cosmologic şi dacă ne mărginim să adăugăm, conform acestei axiomatici, definiţia acceleraţiei particulei. Într-adevăr, legea de mişcare este atunci definită pînă la o funcţie arbitrară de două *variabile* [1]. Robertson arată că această lege se poate pune de acord cu

[1] „De *o singură* variabilă", spune Milne, pe baza unei noi axiome, considerată arbitrară de către Robertson, asupra dimensiunilor fizice pe care trebuie — sau mai curînd nu trebuie să le aibă funcţia în cauză. Vezi mai sus, p. 144.

orice teorie a gravitației compatibilă cu principiul cosmologic și o dovedește aplicînd succesiv teoria einsteiniană, o extindere relativistă a teoriei newtoniene și, în sfîrșit, teoria gravitației a lui Milne, după ce studiase sistemele statistice adăugate la *substratum*-ul cinematic. Cu toate că concluzia lui Robertson este nuanțată (teoria lui Milne îi pare puțin promițătoare), preferințele sale se îndreaptă mai curînd spre teoria einsteiniană și rezultatul este în sine de o importanță evidentă din punctul de vedere al cosmologiei. Dacă legea gravitației nu este legată analitic de definiția operațională a *substratum*-ului cinematic, înseamnă că *descrierea* structurii cosmice și *determinarea legilor* care acționează *în* Univers rămîn ireductibil diferite, contrar cu ceea ce încearcă cosmologia deductivă să stabilească principial.

Discuția lui Robertson duce deci la presupunerea că programul integral al cosmologiei deductive, deducerea legilor fizice pornind de la descrierea cosmologică, are puține șanse să se realizeze vreodată. Dealtfel, mai puțin ambițioși decît Milne, autorii cunoscutei teorii a stării staționare nu au întreprins nimic în acest sens. Aceasta nu l-a împiedicat pe Sciama să încerce un fel de deducere cosmologică a principiului inerției.

Cîteva remarci interesante ale lui Robertson cu privire la extinderea relativistă a teoriei newtoniene a gravitației indică totodată că deducerea cinematică nu șterge deosebirile epistemologice, aflate în spatele deosebirilor tehnice, dintre fizica newtoniană și fizica einsteiniană. Robertson consideră într-adevăr că extinderea relativistă a teoriei newtoniene se bazează pe o interpretare complet apriorică — el spune „kantiană" — a spațiu-timp-ului, după care conținutul material al Universului trebuie să fie considerat ca neavînd influență asupra metricii. Forma pătratică riemanniană reprezintă atunci o formă complet (și nu numai spațial) omogenă și izotropă (nici o direcție de gen temporal nu se poate distinge intrinsec); spațiu-timp-ul nu este decît o formă vidă, iar fasciculul de geodezice al lui Weyl nu are substrat material. Curbura riemanniană a spațiu-timp-ului este, ca și cea a spațiului tridimensional, constantă. Luînd în considerație semnele respective ale celor două curburi (cea a spațiului și cea a spațiu-timp-ului), rezultă șase modele posibile care corespund modelelor „vide" ale cosmologiei relativiste[1].

---

[1] Fie k $(=+1,\ 0,\ -1)$ indicele de curbură al spațiului tridimensional și K $(>0,\ =0,\ <0)$ curbura spațiu-timp-ului. Cele trei cazuri : $k=0,\ K>0$; $k=+1,\ K=0$; $k=+1,\ K>0$ sînt excluse în cosmologia relativistă pentru Universul vid, prin anularea membrului al doilea în ecuațiile lui Friedman. Rămîn deci posibile șase cazuri. Vezi Anexa, V, ec. 57.

Sîntem şi aici în prezenţa unui rezultat cam supărător din punctul de vedere al gîndirii cosmologice pure, pentru că deducţia cinematică nu exclude formal posibilitatea unei distincţii fundamentale, constituţionale, între forma metrică şi conţinutul Universului; este reînnoirea, într-o formă nouă, a obiecţiei aduse de de Sitter lui Einstein.

În general, clarificarea de către Robertson a conceptelor cosmologiei cinematice la cel mai înalt nivel de abstractizare şi de generalitate matematică, făcută atunci cînd elaborarea relativităţii cinematice nu era încă încheiată, nu putea să nu ofere motivele unei „relansări" a problemei. Puterea principiului cosmologic, eficacitatea unui formalism mai abstract se afirmau cu o anumită strălucire, ca și valoarea ipotezei după care principiile epistemologice contribuie într-o măsură importantă la determinarea şi la rezolvarea problemei cosmologice. Robertson confirma interesul încercării lui Milne, într-un mod cu atît mai convingător cu cît el nu aparţinea acestei şcoli puţin arogante şi cu cît el însuși fusese unul din creatorii cosmologiei relativiste.

Aceasta îi permitea în particular să arunce o lumină nouă asupra raportului dintre teoria relativităţii şi cosmologie. Într-adevăr, în timp ce unul din elementele sistemului einsteinian, gravitaţia, apărea pînă la urmă ca fiind contingent în raport cu determinarea structurii cosmice, alte concepte relativiste esenţiale, forma metrică a spaţiu-timp-ului, proprietăţile caracteristice traiectoriilor luminii, se afirmau în schimb încă de la început ca indispensabile pentru definirea *substratum*-ului cosmic. Aceasta reprezenta în adevăr, în raport cu lucrarea lui Einstein *Kosmologische Betrachtungen*, o adevărată răsturnare de perspectivă. Relativitatea ca teorie a semnalului apărea mai natural şi mai profund legată de gîndirea cosmologică decît relativitatea ca teorie a interacţiunilor materiale.

În această privinţă, Robertson este foarte aproape de Milne, sau mai curînd de Walker. Căci Milne, datorită ostilităţii sale filozofice faţă de conceptul de spaţiu-timp şi datorită atitudinii sale preconcepute de independenţă faţă de „ortodoxism", tinde mai curînd să minimalizeze, ba chiar să treacă sub tăcere ceea ce reprezintă poate rezultatul cel mai remarcabil al cercetărilor sale: deducerea structurii metrice a spaţiu-timp-ului cosmic pornind de la axiomele sale metodologice. Walker, dimpotrivă, văzuse perfect de bine importanţa rezultatului şi îl considera unul din titlurile de glorie ale relativităţii cinematice. Acest lucru reiese clar dintr-o controversă care îi opune pe Milne şi Walker, pe de o parte, şi pe McVittie, apărătorul cosmologiei relativiste, pe de

alta. McVittie, care se străduieşte să minimalizeze originalitatea relativităţii cinematice în raport cu relativitatea generalizată, observă că deosebirea dintre aceste două teorii rezidă în principal în folosirea a două tehnici matematice: geometria diferenţială pentru relativitatea generalizată, teoria grupurilor pentru cealaltă [1].

Dar alker dă replica spunînd că alegerea uneia sau alteia dintre aceste metode nu este deloc indiferentă. În relativitatea generalizată, spune el, evoluţia unui sistem material este descrisă de geometria unui spaţiu Riemann. Aceasta este o ipoteză bună de lucru, dar nu există motive precise şi convingătoare ca această geometrie să fie tocmai riemanniană. S-ar putea foarte bine concepe o teorie în care invariantul fundamental să fie o formă de gradul patru, ds^4, a diferenţialelor coordonatelor. Dimpotrivă, metoda grupurilor acoperă aprioric toate posibilităţile. Walker găseşte chiar „stupefiant" faptul că relativitatea cinematică, care utilizează metoda grupurilor în întreaga ei generalitate, readuce totuşi cosmologia la un spaţiu-timp riemannian prin faptul că ea pune în evidenţă o formă pătratică invariantă [2]. Răspunsul lui McVittie, că mai curînd intuiţiei geniale a lui Einstein i se datorează faptul de a se fi înţeles importanţa metricilor riemanniene pentru interpretarea legilor fizice, pare puţin convingător. El se bazează pe confuzia între ordinea raţionamentelor şi ordinea istorică a descoperirilor.

Totuşi, frumoasa demonstraţie făcută de Robertson şi Walker, după Milne, cu privire la eficacitatea şi fecunditatea noii metode în cosmologie, nu a împiedicat punerea în evidenţă cu această ocazie a limitelor acestei metode. Apărătorii cosmologiei relativiste puteau să pună întrebarea: este oare oportun să se pună în joc procedee atît de subtile — chiar dacă nu arbitrare — o matematică atît de perfecţionată, dar atît de îndepărtată de experienţă (măsurarea distanţelor prin procedeul „radar" nu se foloseşte în astronomie, cel puţin nu dincolo de Lună), pentru a reveni pînă la urmă la modele relativiste, fără a aduce alte criterii de alegere în afara celor date de teoria relativităţii şi de observaţie?

În orice caz vigoarea anumitor reacţii pozitiviste dă măsura nivelului pasional la care Milne făcuse să se ridice dezbaterea, prin conjugarea temperamentului său polemic cu ideile sale

---

1 G.C. McVITTIE, *Kinematic Relativity*, The Observatory, 63, *798*, 1940, p. 278.

2 E.A. MILNE, A.G. WALKER, *Kinematic Relativity — A Discussion*, The Observatory, 64, 1941—1942, p. 20.

„eretice". Într-un scurt articol din Nature, H. Dingle ataca cu ardoare „cosmolatria" noilor cosmologi, acuzîndu-i că reneagă trei secole de progres științific pentru a reveni la metodele apriorice, condamnate de istorie, și că iau partea aristotelicienilor împotriva lui Galilei și Newton [1]. Milne era prima sa țintă, dar Dingle nu îl menaja nici pe Dirac, pe atunci în plină glorie, în ale cărui speculații cosmologice vedea „combinarea paraliziei rațiunii cu intoxicarea imaginației". După Dingle, întreaga cosmologie modernă, pornea de la o concepție contrară teoriei relativității generalizate care, ca și cea a lui Newton, „se referă la comportarea oricărui sistem mecanic și, în consecință, nu poate să ne spună nimic cu privire la caracteristicile proprii ale vreunui sistem particular, și mai ales ale Universului".

Ceea ce frapează, dealtfel, este mai puțin violența atacurilor lui Dingle cît abundența unor răspunsuri diverse și nuanțate trimise revistei Nature în apărarea noii cosmologii. Eddington ține să se distingă de cei care fac speculații asupra omogeneității lumii fizice, care nu este pentru el decît un „fapt special", imposibil de dedus. Teoria relativității cinematice găsește sprijinul neașteptat al lui Haldane, care crede că pentru un biolog ea are avantajul de a autoriza ipoteza unei evoluții a legilor fizice, care ar facilita rezolvarea problemei genezei vieții. Răspunsul cel mai subtil este furnizat de Whitrow, care denunță erorile istorice ale lui Dingle și pariază că adversarul său, la vremea respectivă, ar fi luat partea lui Ptolemeu împotriva lui Copernic...

---

[1] *Modern Aristotelianism, mem. cit.*

Capitolul VI

COSMOLOGIA DEDUCTIVĂ: TEORIA STĂRII STAȚIONARE

Cele două motive ale contrapunctului cosmologic — tema ontologică a istoricității cosmice și tema epistemologică a cunoașterii „transcendentale" a Universului — se asociază din nou, în 1948, într-un mod original în memoriul lui Bondi și Gold despre *Steady State Theory of the Expanding Universe*[1] (Teoria stării staționare a Universului în expansiune). Anul 1948 este dealtfel unul din anii cei mai marcanți pentru cosmologia secolului al XX-lea. Cartea *Fundamental Theory* pe care Eddington o lăsase în manuscris la moartea sa, cu patru ani înainte, într-o formă aproape încheiată, era acum oferită publicului, în același timp în care Milne propunea cea de-a doua expunere completă a teoriei sale. Alpher, Bethe și Gamow redactau prima versiune a unei teorii despre formarea elementelor (numită teoria α, β, γ după inițialele autorilor[2]), care va sta la baza construcțiilor cosmogonice ale lui Gamow. În sfîrșit, la Mount Palomar intra în funcție în același an telescopul Hale, cu diametrul de 5 metri.

Cu toate acestea, pentru încă mulți ani ochiul va mai rămîne în urma spiritului. Era încă necesară o muncă îndelungată de acomodare înainte ca măsurătorile lui Hubble, care continuau să servească drept punct de plecare și drept punct de incidență cu observația, pentru speculațiile cosmologice să poată fi respuse în mod serios în discuție și revizuite pozitiv. În orice caz, deplasarea spre roșu, universală, izotropă și proporțională cu distanța, apărea ca un fapt din ce în ce mai puțin contestat și în legătură cu care se dovedea din ce în ce mai clar că nu se poate admite în mod rezonabil decît o explicație structurală sau cinematică, incompa-

---

[1] Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 108, *3*, 1948, pp. 252—270.

[2] Physical Review, 73, *2*, 1948, p. 803. În legătură cu această teorie și cu cosmogonia lui Gamow, vezi mai jos, p. 274

tibilă cu un Univers static. Universul trebuia deci considerat ca un sistem în evoluţie globală. Vîrsta expansiunii, aşa cum rezulta din măsurătorile lui Hubble, 1,8 miliarde de ani, părea însă din ce în ce mai incredibilă în raport cu durata din ce în ce mai bine cunoscută a unor procese astronomice „locale". Dealtfel, dincolo de această dificultate se schiţa o alta mai esenţială şi care rămîne şi astăzi, chiar după revizuirea măsurătorilor de distanţă, pentru că este epistemologică, chiar metafizică. Dacă Universul se transformă în ansamblul său, dacă întreaga structură cosmică, inclusiv geometria, este antrenată în acest curent, ce valoare poate avea o concluzie de-a noastră cu privire la ceva ce nu ţine de prezent? Problema variaţiei seculare posibile a „constantelor" fizicii fusese pusă clar de către Milne şi Dirac, acesta din urmă inspirat de încercarea lui Eddington de a deduce constantele şi dezamăgit de metodele şi de rezultatele înaintaşului său. Dar dacă constantele nu sînt cu adevărat constante, nu devine oare atunci ştiinţa despre Univers extrem de fragilă?

Pe plan teoretic, cosmologia dăduse tot ceea ce putea da în cadrul principiului lui Weyl şi al ipotezelor de omogeneitate şi de izotropie. A abandona unul sau altul din aceste postulate, aşa cum sfătuia Tolman înainte de moartea sa, tot în anul 1948 [1], aşa cum o vor face Gödel şi mai tîrziu Heckmann [2], însemna a sări într-un mod oarecum gratuit în necunoscut. Calea deductivă, deschisă cu îndrăzneală de Milne, Whitrow şi Walker putea să pară mai promiţătoare, dar dezvoltarea relativităţii cinematice şi critica pătrunzătoare a lui Robertson arătaseră că determinarea riguroasă a modelului lui Milne nu se obţine de fapt decît cu ajutorul unor ipoteze adiţionale, care puteau fi considerate ca străine metodei.

Teoria stării staţionare (*Steady State Theory*) a lui Bondi şi Gold se prezintă ca o încercare îndrăzneaţă de a face faţă tuturor elementelor situaţiei. Voinţa unei măiestrii teoretice perfecte nu este mai mică la aceşti autori decît la cei ai relativităţii cinematice şi ceea ce îi animă este spiritul cosmologiei deductive, în toată puritatea sa. Dar ei vor să aplice şi mai riguros principiile. În loc să introducă pe drum, ca Milne, ipoteze restrictive suplimentare, ei preferă să impună de la început limitări mai stricte conceptului de univers. „Principiului cosmologic" al lui Milne, căruia îi menţin toate exigenţele, ei îi substituie „principiul cosmologic perfect" care cere nu numai ca imaginea lumii, la scară

---

1 *The Age of the Universe*, *mem. cit.*

2 În legătură cu modelul lui Gödel, în care nu mai există „timp cosmic", vezi mai jos, p. 264; în legătură cu modelele anizotrope ale lui Heckmann, vezi p. 274.

mare, să fie identică pentru toţi „observatorii fundamentali", dar mai mult, ca ea să fie, pentru un acelaşi observator, independentă de timp. Dintr-o dată cad toate dificultăţile care rezultă din istoricitatea Universului. Vîrsta Universului nu mai are decît un sens relativ în raport cu observaţia : lumea este fără „vîrstă" şi se reînnoieşte fără încetare. Numai procesele locale şi parţiale au o vîrstă, cu toate că pretutindeni şi fără încetare timpul „trece". Identitatea indefinit continuă a structurii cosmice dă un fundament ontologic permanenţei legilor, cu toată dificultatea logică mare care rezultă din contrastul dintre caracterul statistic al primeia (identitatea cosmică) şi caracterul riguros al celei de-a doua (permanenţa legilor).

În schimb, teoria stării staţionare impune o ruptură completă cu relativitatea generalizată şi, prin ea, cu fizica clasică. Spre deosebire de autorii relativităţii cinematice, autorii acestei teorii nu propun nici o dinamică, nici o ecuaţie pentru cîmpul gravitaţional. Pe de altă parte, asociată cu expansiunea spaţiului, staţionaritatea implicată de principiul cosmologic perfect conduce inevitabil la postularea creării continue de materie-energie *ex nihilo* [1], adică la modificarea profundă, dacă nu la abandonarea, principiilor de conservare pe care se bazaseră pînă atunci toate teoriile fizice.

A. Epistemologia teoriei stării staţionare

Ca şi pentru teoria relativităţii cinematice, epistemologia teoriei stării staţionare trebuie examinată cu atenţie, dacă vrem să-i înţelegem construcţia. Prezentată mai implicit şi mai sobru decît cea a lui Milne, această epistemologie nu are caracteristici mai puţin pregnante. Desigur principiile generale pe care le proclamase Milne şi care formează cadrul oricărei cosmologii deductive continuă să fie valabile pentru teoria stării staţionare şi nu vom reveni asupra lor. Totuşi, ele se individualizează într-un mod destul de original, anumite concepte trecînd pe planul al doilea, altele reliefîndu-se dimpotrivă mai accentuat.

1. Metoda deductivă este afirmată foarte net ca preferabilă, în cosmologie, metodei de extrapolare pornind de la o teorie locală. Bondi se dovedeşte însă mai sensibil decît Milne la obiecţiile care

---

[1] În acest mod şi-au prezentat teoria numai în primele lucrări ; ulterior, autorii teoriei stării staţionare au devenit mai precauţi în ceea ce priveşte ideea creaţiei. — *N. R.*

pot fi aduse folosirii deducţiei în domeniul ştiinţelor fizice şi, de asemenea, mai conştient de riscurile oricărui raţionament aprioric asupra realului. Printre aceste riscuri, unul reţine în mod deosebit atenţia lui Bondi şi aceasta dă tonul şi defineşte stilul teoriei stării staţionare: procedînd în mod deductiv ne expunem constant tentaţiei de a introduce ipoteze ad-hoc pentru a particulariza rezultatele şi a depăşi răscrucile. Se obţine astfel o categorie de teorii speculative care, după Bondi, sînt pe drept condamnate. Ar fi însă greşit să extindem această condamnare şi la o altă categorie de teorii — cele care explorează temeinic toate consecinţele *unei singure* ipoteze foarte puternice, care, atunci cînd este considerată izolat, poate foarte bine să nu pară nici atrăgătoare, nici măcar plauzibilă [1]. O astfel de explorare nu este numai legitimă, ea este „însăşi esenţa ştiinţei". Se vede astfel afirmîndu-se la Bondi, mai net chiar decît la Milne, exigenţa rigorii logice şi a determinării complete, precum şi încrederea într-un instrument logic bine făurit şi solid mînuit. Se vede mai ales apărînd o prejudecată monistă atît de străină gîndirii lui Milne şi mai ales celei a lui Whitrow.

Încrederea lui Bondi în virtuţile axiomei unice şi importanţa pe care o ia pentru el economia ipotezelor sînt atît de mari, încît contraatacul său asupra partizanilor teoriilor de tip inductiv se desfăşoară tocmai în acest punct. Empiriştii îi acuză deseori pe autorii deductivi că introduc fără motive serioase ipoteze noi, dar uneori aceşti autori nu introduc în realitate nici o ipoteză nouă, mărginindu-se să înlocuiască printr-o ipoteză explicită un postulat admis în mod tacit în alte teorii. A presupune că o mărime este variabilă urmînd o anumită lege — aşa cum a făcut-o Milne pentru raportul dintre unitatea de timp atomic şi unitatea de timp dinamic — nu înseamnă a introduce o nouă ipoteză, ci a o înlocui pe cea veche, după care această mărime este constantă. Principiul economiei ipotezelor trebuie deci să le depăşească pe toate celelalte. Acest monism metodologic are evidente prelungiri ontologice la cel puţin cîţiva dintre autorii sau apărătorii teoriei stării staţionare (Gold şi Sciama) dacă nu la toţi, pentru că, sub acest raport, ca şi sub multe altele, poziţia lui Hoyle este foarte deosebită [2].

2. Aceşti autori insistă mult mai mult decît cei ai relativităţii cinematice asupra identificării inevitabile, la scara cosmică, între

[1] *Cosmology, op. cit.*, pp. 6—7.

[2] Asupra teoriei inerţiei a lui Sciama, vezi pp. 228—234; despre F. Hoyle, vezi p. 234; asupra unicităţii direcţiei timpului după Gold, vezi p. 366.

legi şi enunţurile descriptive. La acest nivel, într-adevăr, unicitatea obiectului ştiinţei face imposibilă eliminarea prin procedeele comparaţiei, a accidentalului în favoarea esenţialului. Această separare tradiţională nu mai poate păstra nici o semnificaţie : legile îşi pierd caracterul lor general şi enunţurile descriptive caracterul lor contingent. Este tocmai ceea ce interzice în cele din urmă abordarea inductivă în cosmologie şi impune o altă metodă de investigaţie [1].

Acest principiu nu lipseşte din gîndirea lui Milne. În orice caz, el se găseşte implicit în proiectul de deducere a legilor dinamicii din proprietăţile *substratum*-ului cosmic şi este uşor de văzut consecinţa remarcabilă pe care o are în aplicarea acestor legi particulelor „libere" (care aparţin sistemelor statistice şi nu *substratum*-ului) : fiecare din ele descrie în istoria lumii o traiectorie unică, pe care o parcurge o singură dată şi în mod ireversibil. Totuşi la Milne, pe măsură ce focarul cercetării sale se deplasează dinspre teoria cosmologică spre teoria fizică, opoziţia filozofică se referă mult mai mult la aspectul empiric decît la aspectul general al „legii naturii", aşa cum o înţelege pozitivismul. Pentru el, geometria constituie modelul epistemologic al dinamicii ; or, geometria este o ştiinţă a conceptelor generale, nu descrierea unui obiect unic. La Bondi, Gold sau Sciama se vede schiţîndu-se un ideal epistemologic mult mai monist şi mult mai materialist, în măsura în care descrierea existentului fizic, a unicului existent fizic tinde să treacă înaintea determinării universaliilor, dacă ne putem servi de acest cuvînt vechi pentru a desemna reţeaua de relaţii abstracte, generale şi vide cu ajutorul cărora fizica interpretează şi dă o formă datelor experienţei. La limită, idealul ar fi identificarea posibilului cu realul. Tocmai refuzul de a separa unul de celălalt este ceea ce constată şi aprobă Sciama de fapt în argumentaţia lui Mach asupra inerţiei, atunci cînd vrea să o apere de critica lui Russell, care îi reproşează lui Mach faptul că susţine că orice propoziţie trebuie să se refere la lucruri existente [2]. Proiectul de identificare a posibilului cu realul este la fel de vizibil în argumentaţia lui Gold asupra ireversibilităţii cosmice, din care rezultă, aşa cum vom vedea, că Universul în expansiune este singurul posibil, că un Univers în contracţie este nu numai ireal, ci şi imposibil.

Această imagine realistă şi unitară a Universului este şi din alt punct de vedere opusă filozofiei relativităţii cinematice. Căci,

---

[1] *Cosmology, op. cit.*, p. 10.

[2] D.W. SCIAMA, *The Unity of the Universe*, Faber and Faber, Londra, 1959, pp. 97–98.

nu numai că folosirea pe care o dă Milne principiului rațiunii suficiente implică o anumită deosebire între lumea esențelor logice și cea a lucrurilor existente, dar teoria monadologică, așa cum o dezvoltă Whitrow, contrastează puternic, prin aspectul său în același timp pluralist și idealist, cu ceea ce își propune teoria stării staționare. Cu toate că există destule motive pentru a nu avea încredere în analogiile stabilite între niște filozofii despărțite de prea multe secole, nu ne putem împiedica să găsim în această teorie un parfum de stoicism. Căci stoicii nu credeau în realitatea universaliilor, voiau să înlocuiască logica claselor cu cea a evenimentelor, erau convinși de unitatea lumii și de omniprezența totului în fiecare din părțile sale. Atunci cînd Sciama încearcă să ne convingă că inerția unui grăunte de nisip este determinată în proporție de 80% de galaxiile situate dincolo de limitele Universului observabil cu marele telescop de la Mount Palomar [1], nu ne putem împiedica să ne gîndim la picătura de vin a lui Crisip care ar putea să se amestece cu întreaga mare [2].

3. Dacă știința despre Univers trebuie să se dezvolte aprioric aceasta nu poate avea loc totuși fără a se sprijini pe intuiție. Pentru ca axiomele să se poată referi la realitatea fizică trebuie să se stabilească undeva, într-un mod oarecare, un prim contact cu această realitate. Fără aceasta, o teorie cosmologică nu s-ar deosebi cu nimic de o teorie pur formală, ceea ce nu este în spiritul cosmologiei deductive. Am văzut că pentru Milne faptele primordiale sînt pe de o parte *ego*-ul și experiența sa despre timp, iar pe de alta existența posibilă a unei multiplicități de *ego*-uri capabile să schimbe semnale între ele. Lucrul cel mai important pe care intuiția îl dă științei nu este, în această concepție, experiența locală asupra lumii. Cosmologiei nu i se cere deci să interpreteze o experiență directă asupra Universului real, nici să generalizeze sau să completeze o privire sumară asupra lumii; sarcina sa constă înainte de orice în a construi sistemul conceptual și metric care să susțină orice experiență.

Cu totul altfel se petrec lucrurile în teoria stării staționare. Ceea ce se dă acum ca fapt primordial pentru cosmologie este o anumită experiență directă, prealabilă oricărei elaborări conceptuale a totalității cosmice. Există fapte din observația curentă care au o semnificație cosmică imediată. Dacă cosmologia este anterioară fizicii, aceasta nu trebuie luată numai într-un sens logic, ci pînă la un anumit punct și într-un sens experimental. Anumite

---

[1] *The Unity of the Universe, op. cit.*, p. 118; vezi mai jos, p. 234.

[2] Citat din J. BRUN, *Les Stoiciens*, P.U.F., 1957, p. 46.

experienţe banale ne instruiesc în privinţa cunoaşterii Universului şi există o interpretare cosmologică a experienţei obişnuite. Aceasta este o idee metodologică ce poate părea destul de surprinzătoare într-un secol în care a devenit aproape evident pentru toată lumea că faptele primordiale ale ştiinţei nu sînt deloc cele ale experienţei obişnuite şi că pentru a ajunge la ele este nevoie de o aparatură extrem de perfecţionată. Referitor la experienţe, nimeni nu ar mai risca să susţină astăzi, aşa cum o făcea Descartes, că „pentru început este mai bine să nu ne servim decît de acelea care se prezintă de la sine simţurilor noastre şi pe care nu le-am putea ignora". Dealtfel, nu am dat decît o imagine foarte simplificată a principiului metodologic al autorilor teoriei stării staţionare. Căci, după ei, prezenţa faptelor cosmice în imediata noastră vecinătate are o influenţă directă asupra rezultatelor experimentale ale fizicii locale, chiar şi în cazul unei fizici foarte elaborate. Este posibilă nu numai o interpretare cosmologică a experienţei obişnuite — care nu poate avea decît un sens calitativ — ci şi o interpretare cosmologică a anumitor experienţe fizice ale căror rezultate se exprimă precis, numeric.

În această privinţă, aceşti autori reţin întotdeauna două exemple preferate (sînt oare acestea singurele posibile?) pentru a-şi justifica concepţia asupra surselor locale ale cunoaşterii cosmologice. Primul este cel al *inerţiei*. Toţi sînt cel puţin *tentaţi* de principiul lui Mach, în virtutea căruia inerţia unui corp ar fi determinată în fiecare punct de ansamblul maselor existente în Univers. Bondi şi Gold consideră inerţia ca fiind „aproape sigur" rezultatul unei interacţii — dealtfel puţin înţeleasă — între corpul de probă şi ansamblul Universului [1]. Bondi consideră principiul lui Mach ca „încîntător din punct de vedere intelectual sub multe aspecte" [2]. Cît despre Sciama, el îl acceptă fără rezerve şi încearcă să-l integreze într-o teorie nouă a inerţiei [3]. Or, dacă principiul lui Mach este adevărat, inerţia, care alături de gravitaţie este proprietatea dinamică cea mai familiară a corpurilor, aduce o mărturie directă în favoarea acelei „materii cosmice" pe care de Sitter mai putea s-o pună la îndoială în 1917, în lipsa unui telescop suficient de convingător. Aceasta este o certitudine calitativă care se poate preciza într-o cunoaştere numerică foarte precisă asupra Universului. Măsurînd în laborator constanta gravitaţiei (adică relaţia

---

[1] H. BONDI, T. GOLD, *mem. cit.*, §3, p.1.

[2] H. BONDI, *Cosmology, op. cit.*, p. 33.

[3] D.W. SCIAMA, *On the Origin of Inertia*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 113, *1*, 1953, pp. 34—42.

între forţa de gravitaţie şi forţa de inerţie care se exercită asupra unui corp dat), se obţin, după principiul lui Mach, informaţii asupra întregului Univers.

Al doilea exemplu este cel al *slabei străluciri a cerului nocturn*, care este un fapt bine cunoscut : odată ce Soarele a apus, din cer nu mai vine decît o „claritate obscură". Or, confruntat cu principiul cosmologic şi cu ipotezele cele mai incontestabile asupra naturii stelelor, acest fapt familiar dă naştere paradoxului lui Olbers : dacă se presupune că stelele sînt distribuite izotrop şi omogen în spaţiu, legea de propagare a radiaţiei (în $1/r^2$) face ca pierderea de radiaţie să fie mai mult decît compensată de creşterea odată cu distanţa a numărului surselor de radiaţii. Cerul ar trebui să fie strălucitor în mod uniform, intensitatea radiaţiei primite nefiind limitată decît de ocultaţia stelelor unele de către altele [1]. Numai expansiunea Universului, susţin autorii teoriei stării staţionare, poate să înlăture paradoxul, eliminînd excesul de radiaţie. Faptul că se face întuneric în timpul nopţilor fără Lună, dovedeşte deci calitativ că Universul este în expansiune. Mai mult, măsurarea locală a defectului de radiaţie, presupunînd că ea ar fi posibilă cu o precizie suficientă, trebuie în principiu să dea măsura expansiunii. Olbers, care a descoperit paradoxul, ar fi putut deci, cu o sută de ani înaintea lui Hubble şi a ochiului său gigantic, să deducă recesiunea şi să-i măsoare cel puţin grosier ordinul de mărime... Cel puţin aşa afirmă Sciama, care vede aici „una din cele mai mari ocazii pierdute din întreaga istorie a ştiinţei [2]".

Deşi toate acestea conduc destul de departe de epistemologia lui Milne şi Whitrow, trebuie să remarcăm totuşi odată mai mult că, cu toate preferinţele lor moniste şi realiste, autorii teoriei stării staţionare ţin totuşi de cosmologia deductivă printr-o anumită logică internă : ei enunţă principiul cosmologic perfect în termeni de observatori şi aparenţe. Desigur că nu întîmplător împrumută Bondi de la Milne expresia „timp comun" pentru a desemna timpul universal pe care îl postulează, odată cu principiul lui Weyl, cosmologia relativistă [3]. Acest simplu adjectiv indică destul de bine faptul că cosmologia contemporană, oricît de realistă se vrea ea, cu greu poate reveni la o concepţie strict obiectivă asupra sistemului lumii, care să nu facă nici o referire la condiţiile în care poate fi observat acest sistem de către mulţimea spectatorilor săi posibili.

---

[1] Vezi Anexa, p. 493.

[2] *The Unity of the Universe*, *op. cit.*, p. 83.

[3] *Cosmology*, *op. cit.*, p. 10. Vezi Anexa, IV, C.

B. Deducerea teoriei stării staționare

Teoria stării staționare a Universului în expansiune a fost dezvoltată pentru prima oară într-un lung memoriu al lui Bondi și Gold, al cărui raționament îl vom urmări în esență, completînd prezentarea cu împrumuturi ocazionale din expunerea teoriei dată de către Bondi în cartea sa *Cosmology* și rezervînd un loc aparte teoriei inerției a lui Sciama. Ideile cosmologice ale lui F. Hoyle, foarte apropiate, în anumite privințe, de cele ale lui Bondi și Gold, în ceea ce privește aspectul fizic al teoriei și mai ales generarea continuă de materie, se încadrează totuși într-o filozofie și o epistemologie mult deosebite. Ele nu se trag din cosmologia deductivă în sensul propriu al cuvîntului și, dată fiind perspectiva noastră, trebuie separate clar.

Prima etapă a raționamentului lui Bondi și Gold constă în a construi, justificînd-o totodată, ceea ce va reprezenta axioma fundamentală a teoriei : principiul cosmologic perfect. Argumentația este foarte riguroasă, dar puțin sinuoasă ; o vom simplifica sperînd să nu-i trădăm spiritul.

Motivul principal pentru a pune o anumită axiomă la baza cosmologiei este existența unei dependențe inevitabile și reciproce între fizică și cosmologie. Într-adevăr, „repetabilitatea fără restricții a experiențelor este axioma fundamentală a științelor fizice"[1]. Este cel puțin ceea ce afirmă Bondi și Gold la începutul memoriului lor, cu aceeași simplitate lipsită de nuanțe cu care Kant afirma încă din primul rînd al unui text celebru că „din tot ceea ce este posibil de conceput în această lume, ba chiar și în afara ei, nimic nu ar putea fi considerat ca bun fără rezerve decît numai o *voință bună*". Aplicarea axiomei repetabilității presupune de fapt că fizicianul distinge printre fenomenele asupra cărora experimentează pe cele care sînt esențiale de cele care sînt accidentale și își alege liber condiții experimentale care să-i permită să le elimine pe cele din urmă. El nu dispune însă, în orice caz, nici de loc și nici de timp (de la o încercare la alta s-a scurs un interval de timp, iar Pămîntul s-a deplasat în raport cu ceea ce îl înconjură). Pe de altă parte, el nu este sigur că laboratorul poate fi pus la adăpost de influențe cosmice. Cu tot progresul fizicii teoretice, argumentul lui Mach rămîne încă foarte puternic. Este bine cunoscut faptul că starea de rotație a Pămîntului, determinată cu ajutorul pendulului lui Foucault, coincide exact cu

---

[1] *Unrestricted Repeatibility, mem. cit.*, §§1, 2, p. 252. *Indefinite Repeatibility, Cosmology, op. cit.*, p. 10.

starea de rotaţie a aştrilor îndepărtaţi în jurul unui observator terestru. Este oare vorba de o simplă coincidenţă, sau de manifestarea unei relaţii cauzale? Dacă, urmîndu-l pe Mach, alegem cel de-al doilea răspuns, inerţia oricărui corp terestru este determinată de ansamblul materiei cosmice şi orice experienţă dinamică locală este afectată în mod fundamental de această materie.

Cum să împăcăm existenţa acestei influenţe şi localizarea experienţei cu axioma repetabilităţii, de vreme ce experimentatorul nu poate dispune nici de una, nici de cealaltă? Dificultatea rezultă de fapt din unicitatea Universului, care face imposibilă transpunerea la acest nivel a distincţiei dintre accidental şi esenţial. Este imposibil să decidem dacă vreo trăsătură observată a structurii cosmice îi aparţine acesteia în mod esenţial sau accidental, astfel încît efectul unei variaţii oarecare a proprietăţilor sale asupra experienţei locale — şi prin ea, asupra a ceea ce considerăm a fi legile naturii — este de fapt total necunoscut. Dacă legile opticii pe care le cunoaştem sînt în parte determinate de o influenţă cosmică care se exercită asupra experienţelor noastre, influenţă care diferă însă după loc şi timp, devine imposibil să interpretăm observaţiile pe care le facem asupra luminii care provine de la obiecte îndepărtate.

De fapt, orice teorie cosmologică şi, mai ales, orice teorie a evoluţiei cosmice se bazează pe ipoteze care permit să se ocolească dificultatea amintită. Unele dintre aceste ipoteze pot fi deosebit de satisfăcătoare din punct de vedere intelectual, de unde şi argumentele ,,estetice'' în favoarea lor, argumente care îşi au valoarea lor, dar nu pot înlocui un fundament logic. Spre exemplu, ipoteza caracterului constant al legilor este deosebit de atrăgătoare, pentru că ea conferă permanenţă lucrurilor abstracte. Dar este oare rezonabil să o admitem ca valabilă în condiţii fizice extrem de diferite de cele normale, spre exemplu în starea de compresie extremă în care a putut să se găsească materia acum cîteva miliarde de ani?

,,Principiul cosmologic'' oferise o soluţie parţială, eliminînd orice risc în legătură cu posibilitatea ca legile să fie determinate local prin particularităţi de structură. Aplicarea sa este cu atît mai oportună cu cît observaţia dobîndită în privinţa Universului îndepărtat îl face să pară foarte probabil. Dar el este imperfect pentru că lasă deschisă posibilitatea unei variaţii în timp a structurii cosmice — acest timp cosmic pe care îl presupun de fapt toate teoriile care admit principiul cosmologic — şi, prin urmare, posibilitatea unei eventuale modificări a legilor rezultată din această variaţie. Dealtfel, principiul cosmologic nu se poate lipsi

de ipoteze suplimentare în această privință, dar părerile cu privire la ele diferă : pentru unii, legile obținute pornind de la experiențe de laborator sînt întotdeauna aplicabile, oricare ar fi stadiul de evoluție a structurii cosmice ; pentru alții, legile sînt identice ca formă, dar „constantele'' numerice care figurează în expresia lor sînt, de fapt, variabile în timp ; în sfîrșit, pentru alții, prin compararea între ele a valorilor empirice se pot discerne adevăratele constante de celelalte.

Punctul de vedere al autorilor teoriei stării staționare este cu totul altul. Ei postulează că interacțiunea dintre legile fizice și structura cosmică trebuie să ducă la o poziție stabilă și își propun să exploreze „posibilitatea ca Universul să fie într-o stare stabilă, fără a face vreo ipoteză asupra trăsăturilor particulare care duc la această stabilitate''. Dealtfel, un asemenea Univers este de fapt singurul care oferă o bază oarecare ipotezei după care legile fizice sînt constante, iar fără această ipoteză cunoașterea noastră este pur instantanee și poate cu totul inadecvată pentru interpretarea dependenței legilor de structura cosmică, deci improprie oricărei extrapolări spre trecut sau spre viitor. De aici apare *principiul cosmologic perfect:* „Se postulează că Universul este omogen și staționar în înfățișările sale la scară mare, precum și în legile sale fizice ''[1]. Teoria trebuie să rezulte din explicitarea tuturor consecințelor care decurg din această axiomă extrem de restrictivă, chiar dacă acestea intră în contradicție cu concluziile teoretice general admise. Ceea ce caută autorii și ceea ce pretind dealtfel să găsească, sînt unele dovezi directe rezultate din observație și nici una din aceste dovezi nu trebuie neglijată.

Consecința cea mai simplă care se poate trage din principiul cosmologic perfect este că Universul este imuabil, dar, practic, această concluzie este exclusă de observarea decalajului spectral al nebuloaselor. Acest fapt putea să fie știut încă din 1930, iar eșecul repetat al tuturor încercărilor de a interpreta acest fenomen în cadrul unui Univers static a făcut ca în 1948 această excludere să fie și mai riguroasă. Dar aici autorii teoriei aduc în dezbatere un element nou, făcînd să intre în joc considerații termodinamice fără legătură directă și vizibilă cu expansiunea, pe care le-am menționat mai sus. Într-adevăr, după ei, Universul static este în orice caz exclus, prin simpla existență a unui dezechilibru termodinamic al lumii fizice, perceptibil la orice scară. Că Uni-

---

[1] *Mem. cit.*, p. 254. „...Aspectul Universului la scară mare trebuie să fie independent nu numai de poziția observatorului, dar și de momentul în care el își face observațiile'' (H. BONDI, *Cosmology, op. cit.*, p. 141).

versul nostru nu este în echilibru „rezultă clar nu numai din observaţiile astronomice, ci şi din fizica locală şi, de fapt, din însăşi existenţa noastră"[1].

Acesta este cel de-al doilea exemplu, după cel al inerţiei, al unei legături directe între o trăsătură familiară a realităţii fizice şi o proprietate structurală a întregului Univers. Raţionamentul lui Olbers este suficient, fără a mai fi nevoie de un telescop, pentru a ne convinge că un Univers conform principiului cosmologic nu poate fi static. Obscuritatea cerului nocturn nu este decît consecinţa cea mai „vizibilă" a faptului că „una dintre trăsăturile cele mai marcante ale mediului nostru fizic înconjurător este raritatea extraordinară a radiaţiei "[2].

Singura soluţie plauzibilă a paradoxului lui Olbers fiind expansiunea, trebuie să ne întrebăm în ce condiţii este compatibilă această mişcare cu principiul cosmologic perfect. Or, dacă principiul hidrodinamic de continuitate este satisfăcut, principiul cosmologic perfect nu este, deoarece densitatea materiei descreşte. Pentru a împăca mişcarea de expansiune şi staţionaritatea cerută de principiul cosmologic perfect, trebuie să se renunţe la principiul hidrodinamic de continuitate şi să se admită *generarea continuă de materie ex nihilo*. În aceasta constă, după mărturia lui Bondi, „schimbarea cea mai revoluţionară" pe care o implică teoria[3]. Trebuie păstrat neapărat principiul de continuitate hidrodinamic? Valorile empirice ale constantei de recesiune şi ale densităţii cosmice medii permit să se estimeze cu uşurinţă viteza de generare necesară pentru a împăca expansiunea cu staţionaritatea; o particulă de masa unui proton la un litru şi la un miliard de ani. La această viteză, generarea continuă este evident inobservabilă şi fără influenţă asupra rezultatului experienţelor locale. Credincioşi regulii lor epistemologice de a se menţine cu orice preţ la axioma lor unică, în absenţa unei dezminţiri formale din partea observaţiei, autorii teoriei stării staţionare preferă principiul cosmologic fără a mai ţine seama de alte neajunsuri ale sale. Dealtfel, principiul hidrodinamic de continuitate este cel aflat în cauză, şi nu principiul conservării materiei-energiei, căci nu este absurd să se pretindă ca teoria stării staţionare să respecte global acest din urmă principiu, într-un sens strict „fenomenologic". Această teorie implică într-adevăr faptul că, aşa cum vom vedea, cantitatea de materie-energie prezentă în Universul *observabil* este

[1] H. BONDI, T. GOLD, *mem. cit.*, p. 255.

[2] H. BONDI, *Cosmology*, *op. cit.*, p. 19.

[3] *Ibid.* p. 143. Vom vedea totuşi că ideea plutea „în aer"; posibilitatea generării continue fusese deja luată în consideraţie, după Jeans, de către Jordan. Vezi mai jos, p.255.

constantă, generarea compensînd energia care, prin mişcarea de expansiune, se pierde continuu (evident, în virtutea principiului cosmologic, oricare ar fi observatorul ales)[1].

Consideraţiile precedente rămîn în esenţă calitative, iar pentru a confrunta teoria cu observaţia şi cu rezultatele dobîndite de fizica locală, este indispensabil să se definească structura metrică a Universului, natural fără a recurge la teoriile existente, ca teoria newtoniană a gravitaţiei sau R.G., care se bazează pe principiul conservării materiei-energiei, conceput într-un sens care exclude formal generarea continuă de materie. Pentru o încercare de acest fel, autorii dispuneau, în 1948, de o experienţă teoretică importantă, cea a cosmologiei relativiste, cea a relativităţii cinematice. Discuţia generală a lui Robertson asupra rezultatelor sigure ale „metodologiei operaţionale" le furniza, în sfîrşit, pe plan tehnic, cheia problemei.

Ca toţi cosmologii contemporani, autorii teoriei stării staţionare admit că partea observată din Univers este reprezentativă pentru ansamblu. Or, omogeneitatea distribuţiei galaxiilor în partea explorată a spaţiu-timp-ului, expansiunea izotropă, proporţională, într-o primă aproximaţie, cu distanţa, erau fapte de acum bine stabilite, care confirmau valoarea intuiţiilor lui Einstein şi Weyl. Ele justificau folosirea principiului cosmologic şi indicau, pe de altă parte, că mişcarea generală a materiei urmează o schemă particulară şi bine definită : cu toate fluctuaţiile, în fiecare punct se schiţează o direcţie preferenţială. În principiu, un observator oarecare, măsurînd în fiecare direcţie constanta din relaţia lui Hubble, ar putea determina abaterea propriei sale mişcări în raport cu mişcarea generală a *substratum*-ului, prin diverse procedee statistice care ar putea da desigur rezultate diferite, dar între nişte limite destul de înguste. În sfîrşit, pentru orice observator, schema generală a mişcării materiei este definită în orice punct de un cîmp de vectori în spaţiu-timp-ul cvadridimensional, cu mici abateri locale faţă de mişcarea preferenţială.

Dar aceste ipoteze, la care se adaugă proprietăţile fundamentale ale luminii aşa cum le acceptă întreaga fizică, de la teoria relativităţii restrînse, sînt tocmai cele pe care s-au sprijinit Milne, Robertson şi Walker în construirea teoriei *substratum*-ului cosmic în perfect acord geometric, dacă nu fizic şi filozofic, cu cosmologia relativistă. Autorii noii teorii se sprijină deci pe rezultatele acestora, modificîndu-le — dacă ne gîndim la Milne — şi parti-

---

[1] Dimpotrivă, principiul hidrodinamic de continuitate este o relaţie diferenţială. Deoarece generarea continuă este un fenomen local, pe care convenţiile obişnuite ale cosmologiei ne obligă să-l considerăm ca continuu în adevăratul înţeles, ea este strict incompatibilă cu principiul hidrodinamic de continuitate.

cularizîndu-le — dacă ne referim la Robertson — prin restricţia suplimentară pe care condiţia de staţionaritate o impune principiul cosmologic perfect. Această restricţie are două consecinţe importante :

1. Ea permite — cel puţin după afirmaţiile lui Bondi şi Gold — să se elimine *timpul cosmic* dintre conceptele de bază ale cosmologiei.

2. Ea permite să se specifice, pînă la o singură constantă, care poate fi obţinută din observaţii, elementul ds^2 al *substratum*-ului.

Aceste două consecinţe se află în centrul teoriei stării staţionare, considerată ca teorie cosmologică în sensul strict al cuvîntului şi de aceea trebuie să ne oprim asupra lor.

Probabil că cititorul a observat că problema timpului cosmic este una din cele mai dificile probleme ale cosmologiei. Argumentele lui Bondi şi Gold în această privinţă nu sînt poate de o perfectă claritate. După părerea noastră, ei dovedesc în mod incontestabil că teoria stării staţionare este mai puţin dependentă decît oricare altă teorie de ipoteza timpului cosmic : intervalul de timp cosmic nu mai păstrează decît o semnificaţie statistică, iar datarea unui eveniment cosmic într-o scară de timp absolută devine de neconceput. Totuşi, ar fi exagerat să se pretindă că timpul cosmic este total eliminat din teorie. Trebuie în orice caz să reluăm problema dintr-un stadiu mai îndepărtat.

Ipoteza timpului cosmic a fost explicitată de Weyl în 1923, în discuţia pe care a făcut-o asupra Universului lui de Sitter [1]. Într-un anumit sens, ea marchează în relativitate un pas înapoi faţă de condiţiile de invarianţă definite de teoria restrînsă. Ea se impunea totuşi cosmologiei relativiste, tot aşa cum se impune oricărei teorii care descrie Universul ca avînd o înfăţişare omogenă şi izotropă în orice punct, fără a fi totuşi staţionar. Geometric, ea revine la postularea existenţei unei familii de hipersuprafeţe ortogonale traiectoriilor de univers ale particulelor cosmice, cel puţin ale acelora care formează un ansamblu fundamental (identificat în general cu ansamblul galaxiilor). Timpul cosmic este atunci parametrul — unic — asociat acestei familii de hipersuprafeţe. Această reprezentare geometrică nu este dealtfel indispensabilă pentru înţelegerea motivului pentru care conceptul de timp cosmic se impune în mod natural din momentul în care principiul cosmologic este completat de ipoteza unei evoluţii totale, aşa cum o

[1] Vezi mai sus, p. 59 şi Anexa, IV, C.

arată raționamentul „operațional'' al lui Bondi [1]. Dacă orice observator fundamental vede Universul în evoluție, atunci, în virtutea principiului cosmologic, va fi posibil ca A să găsească un moment t_A pe ceasul său în care vede lumea în aceeași stare în care o vede B, la un moment pe care acesta îl notează cu t_B pe ceasul său. Universul, datorită înfățișării sale omogene și izotrope, joacă rolul unui instrument de sincronizare a ceasurilor. Or, după autorii teoriei stării staționare, această consecință prezintă următorul mare inconvenient.

Ipoteza nu este valabilă decît pentru *substratum*-ul observatorilor-particule fundamentali, ale căror traiectorii sînt geodezicele lui Weyl, care nu se întretaie decît într-un punct singular situat la o distanță finită sau infinită în trecut. Dar mișcările reale ale galaxiilor se abat de fapt de la aceste geodezice și este imposibil de știut dacă timpul cosmic „există'', adică dacă traiectoriile reale ale galaxiilor sînt efectiv ortogonale pe o familie de hipersuprafețe, adică dacă observatorii reali și-ar putea efectiv sincroniza ceasurile, așa cum o pot face observatorii ideali ai *substratum*-ului. Local, substituirea observatorilor reali prin observatori fundamentali, identificarea traiectoriilor galaxiilor cu geodezicele lui Weyl este desigur o aproximație rezonabilă. În schimb, extinsă la întregul Univers, această substituire este îndoielnică : ea riscă să nu fie adevărată, nici măcar aproximativ. Conceptul de timp cosmic poate deci să ruineze complet structura logică a teoriei cosmologice : Universul idealizat al cosmologiei ar putea avea o trăsătură căreia să nu-i corespundă nimic, nici măcar aproximativ, în cel real [2].

Dimpotrivă, în teoria Universului staționar existența timpului cosmic nu este implicată de ipoteza omogeneității, adică este indiferent dacă există sau nu o familie de hipersuprafețe ortogonale cu traiectoriile de univers ale galaxiilor. Desigur, în măsura în care teoria stării staționare este obligată să se refere la un *substratum* metric simplu, să raționeze pe un Univers idealizat, ea admite de asemenea un timp cosmic căci, spune Bondi [3], există argumente geometrice care arată că un astfel de concept se impune în orice model simplu. Dar, de fapt, așa cum vom vedea, singura metrică compatibilă cu ipotezele teoriei este aceea în care existența unui timp cosmic nu poate avea nici o influență asupra observării Universului la scară mare și în care nu poate exista

---

[1] H. BONDI, *Cosmology, op. cit.* p. 71 ; nu Bondi, ci noi am introdus expresia „operațional'', după „metodologia operațională'' a lui Robertson ; vezi mai sus, p.196.
[2] H. BONDI, T. GOLD, *mem. cit.*, p. 257 ; *Cosmology*, op. cit., p. 72.
[3] *Cosmology*, p. 71.

nici o măsură efectivă a unui interval de timp cosmic. De aici rezultă condiții precise pentru teoria evoluției galaxiilor. Dacă, cu ajutorul metricii *substratum*-ului, ajungem să determinăm vîrsta galaxiilor după proprietățile lor fizice, această determinare nu trebuie să ne permită o măsurare a timpului cosmic. Creîndu-se fără încetare noi galaxii, în același timp în care cele vechi se îndepărtează și dispar la orizontul cosmic [1], proporția galaxiilor de orice vîrstă trebuie să fie independentă de timpul de observație. Dealtfel aceasta este pînă la urmă singura bază posibilă pentru observația îndepărtată. Astfel singura îmbătrînire pe care observatorul o poate constata este cea a mediului său înconjurător imediat, pe care expansiunea nu îl afectează : acesta este un fenomen local.

Totuși, această argumentație are numai o aparență de adevăr, căci expansiunea face să apară în *substratum* un interval de timp caracteristic, care permite să se calculeze durata dincolo de care semnalele emise de o galaxie oarecare nu mai ajung la observator (această durată variază de la zero la infinit, după poziția galaxiei date în momentul inițial ales). Prin urmare, va exista o relație determinată între distribuția statistică a galaxiilor, după vîrsta lor individuală, măsurată în timpul propriu al observatorului, și timpul caracteristic al expansiunii, măsurat în scara timpului cosmic din *substratum*. Pe de altă parte, identificarea celor două scări de timp nu poate fi separată de ipoteza după care lumea reală poate fi identificată cu *substratum*-ul. Am putea aduce acum pretenției lui Bondi și Gold de a elimina timpul cosmic în teoria lor, următoarea obiecție :

După principiul cosmologic perfect, distribuția galaxiilor după vîrsta lor trebuie să fie o dată cosmică aparținînd lumii reale și nu numai *substratum*-ului. Dar atunci, ceea ce am spus mai înainte implică faptul că intervalul de timp cosmic, măsurat cu ajutorul metricii *substratum*-ului, încetează de a mai fi numai o proprietate a modelului idealizat, asociindu-se strîns de proprietățile reale ale Universului. Distribuția după vîrstă a galaxiilor permite sincronizarea ceasurilor, cel puțin în sensul că ea permite definirea „comună" a unei unități de timp. Trebuie să admitem totuși, odată cu autorii :

---

[1] Ele „dispar" în sensul că fotonii emiși de ele după un anumit timp nu mai ajung pînă la Pămînt. Dar observatorul terestru le „va vedea" întotdeauna, pentru că timpul de parcurs al fotonilor emiși crește indefinit pe măsură ce ne apropiem de această limită. Vezi Anexa, IV, 2.

1. că intervalul de timp cosmic asociat evoluţiei reale a Universului observat nu mai are decît o semnificaţie statistică şi nu sensul geometric precis pe care îl îmbracă în *substratum*;

2. că teoria exclude cu desăvîrşire datarea unui eveniment oarecare într-o scară de timp universal absolut; şi

3. că această ultimă particularitate elimină riscul pe care îl implică orice concepţie mai strictă asupra timpului cosmic (modelele clasice ale cosmologiei relativiste sau modelul cinematic), de a stabili o abatere arbitrar de mare între traiectoriile reale ale galaxiilor şi geodezicelor lui Weyl, cu care ele ar putea fi identificate instantaneu. Am putea poate rezuma toată această discuţie spunînd în concluzie că teoria stării staţionare elimină *istoria* cosmică, conservînd *timpul* cosmic.

Am spus că ipotezele cinematice şi metodologia operaţională a lui Milne şi Robertson conduc, pentru elementul ds^2 al *substratum*-ului exact la aceeaşi expresie care rezultă, în cosmologia relativistă, din ipotezele de omogeneitate şi de izotropie şi din principiul lui Weyl[1]. Impunînd acestei metrici restricţiile suplimentare care rezultă din principiul cosmologic perfect, autorii teoriei stării staţionare ajung să obţină acea determinare completă a metricii cosmice la care cosmologia relativistă nu putuse să ajungă şi care, după Robertson, nu rezulta la Milne din nici un postulat perfect explicitat şi complet justificat. Într-adevăr, aplicată ecuaţiei 4 (Anexa, IV) condiţia de staţionaritate duce imediat la următoarele consecinţe:

1. $k = 0$; într-adevăr $\frac{k}{R^2}$, curbura spaţiului tridimensional (r, θ, φ), este o mărime observabilă, pentru că afectează viteza de creştere în funcţie de distanţă a numărului de galaxii observabile. În virtutea principiului cosmologic perfect, această viteză trebuie să fie constantă, ceea ce este imposibil în cazul în care k nu este nul, pentru că R variază cu t.

2. $\frac{\dot{R}}{R} = \text{const.}$ Acesta este coeficientul relaţiei lui Hubble viteză-distanţă. În virtutea principiului cosmologic perfect, el trebuie să fie independent de timp, pentru că determină mărimea deplasării spre roşu a galaxiilor, cantitate observabilă. De aici, R este determinat pînă la o constantă de integrare, care este tocmai constanta lui Hubble, măsurată empiric. Elementul ds^2

---

[1] Vezi Anexa, IV, ec. 41; r, θ, φ, sînt coordonatele observatorilor fundamentali (constante), iar t este timpul cosmic, identic cu timpul propriu al fiecăruia dintre aceşti observatori.

astfel obținut[1] corespunde metricii lui de Sitter din cosmologia relativistă, scrisă într-un sistem de coordonate în care Universul nu mai apare static, ci *staționar*, după expresia de care se servea Robertson, în 1928, pentru a exprima una din cele mai remarcabile proprietăți ale sale [2]. Dar interpretarea fizică a metricii este cu totul diferită în cele două teorii : în relativitatea generalizată, metrica (IV, 41) este o soluție a ecuațiilor cîmpului cu $\Lambda = 3H_0^2$, pentru spațiul vid ; este deci dificil să o aplicăm unui Univers real, pentru că ipoteza „materiei cosmice'', pe care în 1917 de Sitter o considera îndoielnică, a fost verificată mai tîrziu de observația astronomică. În schimb, în teoria stării staționare, nu există nici o legătură necesară între forma geometrică și densitatea de materie-energie prezentă în spațiu-timp. Metrica lui de Sitter este aprioric compatibilă cu orice distribuție de materie-energie care satisface principiul cosmologic perfect.

Cu toate că nu are în mod necesar nici o legătură cu proprietățile materiei, metrica staționară permite totuși să se definească cu precizie mărimile de interes cosmologic susceptibile de a fi măsurate efectiv și, în consecință, permite să se pregătească confruntarea dintre teorie și observație. Unul din avantajele teoriei este că ea nu întîmpină nici o dificultate de principiu în interpretarea unor observații îndepărtate. Aceasta rezultă din eliminarea „istoriei cosmice'' : fiecare nebuloasă individuală îmbătrînește și are o vîrstă determinată în timpul propriu al observatorului, dar ansamblul nebuloaselor nu are vîrstă. Timpul $\frac{1}{H_0}$ care figurează în metrică definește o vîrstă medie, constantă, a nebuloaselor observabile, dar nu o vîrstă a structurii cosmice în întregime. În consecință, cu toate că observăm nebuloasele într-o stare în care ele nu se mai află acum, nu trebuie să ținem cont de acest fapt cînd efectuăm observații asupra unui număr suficient de mare de obiecte, căci într-o parte oarecare a volumului spațio-temporal accesibil privirii noastre se găsește întotdeauna aceeași proporție de galaxii de orice vîrstă. Celelalte teorii care postulează o evoluție cosmică globală nu pot să evite introducerea mai mult sau mai puțin arbitrară a unor ipoteze suplimentare. Într-adevăr criteriile de distanță care servesc la sondarea spațiului devin criterii de vîrstă, iar separarea între influența pe care o are asupra fenomenelor observate, distanța considerată în spațiu și distanța considerată în timp devine pînă la urmă incertă.

---

[1] Vezi Anexa, IV, 2.

[2] Citat în R. C. TOLMAN, *Relativity, Thermodynamics, ...*, *op. cit.*, p. 348.

Calculul decalajului spectral nu prezintă nici o dificultate particulară. Formula acestuia este foarte simplă : decalajul este exact proporţional cu distanţa-coordonată a obiectului (însă nu cu distanţa măsurată, care, spre deosebire de prima, nu este independentă de timp). Luminozitatea aparentă a galaxiilor se calculează cu ajutorul unei formule analoage celei din cosmologia relativistă.

O deosebire importantă faţă de formula relativistă apare însă în ceea ce priveşte numărul de nebuloase cuprinse în stratul sferic $(r, r + dr)$ şi a căror lumină ajunge la observator într-un moment dat. Într-adevăr, în timp ce în cosmologia relativistă densitatea medie este constantă în elementul de *volum-coordonată* $r^2 \sin\theta \, dr \, d\theta \, d\varphi$ şi, în consecinţă, descreşte cu timpul în cîmpul de observaţie, în T.S.S. această densitate este constantă în elementul de *volum propriu* al observatorului, $\exp(-3Ht) r^2 \sin\theta \, dr \, d\theta \, d\varphi$. Această deosebire oferă în principiu un criteriu de discriminare prin intermediul observaţiilor între cele două teorii, dar criteriul este practic inaplicabil, cel puţin pînă în momentul în care datele radioastronomice vor fi mai complete şi vor putea fi interpretate cu mai multă siguranţă.

Este clar că ideea generării continue de materie, una dintre cele mai frapante idei din teoria stării staţionare, depăşeşte cadrul conceptelor strict structurale ; ea este ontologică şi genetică. De aceea, locul acestei noţiuni în cosmologia modernă va fi discutat în acea parte a cărţii de faţă rezervată problemelor ireversibilităţii timpului şi ale cosmogoniei. Privind astfel problema, va reieşi clar că originalitatea autorilor acestei teorii provine în special din aceea că ei au abordat mai direct decît alţii o problemă pe care cosmologia, ba chiar fizica nu o pot ignora şi au găsit o soluţie exact opusă, chiar antinomică, celei pe care o dăduseră predecesorii lor pe calea îndrăznelii cosmogonice, Lemaître şi Milne.

Dar ceea ce trebuie să ne reţină îndeosebi atenţia pentru moment este faptul că în teoria stării staţionare generarea continuă este o consecinţă a axiomelor şi că ea apare analitic legată de soluţia problemei structurii. În felul acesta, structura şi geneza se află mai strîns asociate decît au fost vreodată, dar această asociere face parte din logica întregii cosmologii moderne, care a plecat de la încercarea de a suprima orice deosebire conceptuală între structura metrică a Universului şi conţinutul său material şi care a descoperit pe drum că structura metrică era variabilă . . .

Am arătat mai sus că, în teoria stării staţionare, care impune principiul cosmologic perfect unui Univers în expansiune, generarea continuă este o consecinţă inevitabilă. Dar această consecinţă pune imediat probleme dificil de rezolvat, mai ales

problema modalităților generării. În această privință nu ne putem aștepta la nici un ajutor din partea observației directe, dată fiind extrema încetineală a procesului la scara măsurătorilor umane; principiul cosmologic perfect este deci, după metoda teoriei, singura resursă pe care o avem la dispoziție. De fapt, atunci cînd își pun problema fizicii generării Bondi și Gold introduc în discuție, poate fără vreo necesitate absolută, elemente care alterează oarecum puritatea deductivă a dezvoltării lor. Principiul cosmologic perfect nu le spune dacă generarea este un fenomen asociat cu prezența materiei, materia nouă formîndu-se de preferință în vecinătatea maselor existente (deci în centrul stelelor, așa cum credea Jordan, sau al galaxiilor, așa cum credea Jeans), sau dacă generarea este un proces neafectat de prezența maselor existente (în care caz materia nouă ar lua naștere în cea mai mare parte a imensului vid intergalactic). Aceasta revine, gîndesc ei, la a alege între două tendințe ale cosmogoniei, ambele prezente la autorii contemporani:

1. Unii sînt de părere că principalul proces cosmogonic este de natură centrifugă: explozia stelelor, „evaporarea" galaxiilor și a roiurilor de galaxii.

2. Ceilalți consideră, dimpotrivă, că principala dezvoltare este centripetă: condensarea materiei difuze în stele și galaxii, creșterea stelelor prin acreție etc.

Or, aplicată problemei generării, soluția 1 conduce la rezultate incompatibile cu certitudinile dobîndite de astrofizică: dacă stelele ar furniza materia nouă cu o viteză cerută de staționaritate, atunci le-am vedea evoluînd mult mai repede. Trebuie deci să acceptăm soluția 2 și să presupunem că materia este generată uniform în tot spațiul, cu o viteză independentă de prezența materiei preexistente[1].

În lucrarea *Cosmology*, Bondi leagă mai direct de principiul cosmologic perfect ipoteza după care generarea are loc uniform și nu face nici o aluzie la conflictul dintre cosmogonia centrifugă și cosmogonia centripetă. El se mărginește să spună că dacă noua materie s-ar forma acolo unde materia este deja densă, atunci ea nu ar apărea tocmai acolo unde existența sa este cerută de principiul cosmologic perfect: în spațiile intergalactice, unde noi galaxii trebuie să le înlocuiască în mod constant pe cele care, datorită expansiunii, dispar la orizontul observației[2].

Dar rezolvarea acestei prime probleme face să apară imediat alta: care sînt caracteristicile cinematice ale materiei nou gene-

---

[1] H. BONDI, T. GOLD, *mem. cit.*, p. 265.
[2] *Cosmology, op. cit.*, pp. 149—150.

rate? Dacă s-ar putea presupune că materia nouă este indusă într-un fel oarecare de materia veche, atunci i s-ar putea atribui viteza acesteia, dar deoarece lucrurile nu stau astfel, trebuie să se dea problemei un răspuns specific şi motivat. Or, discuţia face să apară imediat o consecinţă interesantă şi încurajatoare. Dacă se presupune, într-adevăr, că vitezele particulelor generate trebuie să fie distribuite la întîmplare, se observă că cinematica lor defineşte o direcţie preferenţială a spaţiu-timp-ului, în jurul căreia se distribuie vitezele particulelor. Într-adevăr, singura distribuţie de probabilitate invariantă la transformările Lorentz este cea în care fasciculul de traiectorii este divergent[1].

Această neinvarianţă este surprinzătoare şi contrarie principiilor teoriei relativităţii. De fapt, ea este însă în conformitate cu cerinţele cosmologiei, prin urmare ale expansiunii, şi se exprimă în cosmologia relativistă prin principiul lui Weyl. Este deci natural să se identifice direcţia mişcării spaţio-temperale a particulelor nou generate cu cea a mişcării *substratum*-ului. Astfel, T.S.S. are avantajul asupra altor teorii de a putea asocia direcţia preferenţială a spaţiu-timpului cu un proces fizic fundamental. Se poate presupune că viteza particulelor nou generate într-un punct este exact identică cu viteza observatorului fundamental situat în acest punct, dar viteza acestui observator poate de asemenea să fie o medie în jurul căreia se distribuie vitezele particulare ale particulelor noi. Aceasta revine la a pune problema temperaturii materiei noi; absenţa oricărei radiaţii observabile provenind din spaţiile intergalactice permite să se fixeze o limită superioară pentru această temperatură, care fără nici o contradicţie poate fi presupusă nulă.

Acestea sînt principalele probleme structurale pe care le ridică generarea continuă în teoria stării staţionare. Urmează după aceea altele, mai fizice, şi mai direct legate de cosmogonie, de exemplu: care este starea electrică a materiei nou-născute? Aplicarea legilor fizice arată că ea nu se poate abate mult de la neutralitatea electrică, deoarece în caz contrar excesul de sarcină ar produce efecte care nu sînt observate în fapt. Ce fel de atomi sînt generaţi[2]? Supraabundenţa hidrogenului sugerează prin ea însăşi că particulele noi nu sînt nuclee complexe. Rămîn atunci trei posibilităţi:

1 generare separată, cu aceeaşi viteză, de protoni şi electroni;
2 generare de neutroni; şi
3 generare de protoni şi electroni, legaţi în atomi de hidrogen.

---

[1] H. BONDI, T. GOLD, *mem. cit.*, §§ 4, 2, p. 266.

[2] Consideraţii termodinamice simple cer ca materia să fie generată sub o formă cu entropie scăzută, adică mai curînd sub formă de masă decît sub formă de radiaţie, *Cosmology, op. cit.*, p. 144.

Soluţia 2 este mai puţin probabilă decît celelalte, dat fiind faptul că neutronii nu sînt stabili şi că energia eliberată prin dezintegrarea lor în protoni şi electroni ar putea da naştere la fenomene care să depăşească pragul observabilului. Pornind de la acest nucleu de ipoteze, asociate destul de direct cu teoria structurală, se poate construi un întreg sistem cosmogonic, care este mai curînd opera lui Hoyle decît a lui Bondi şi Gold. Acest sistem va fi prezentat într-un capitol ulterior.

C. Limitele teoriei stării staţionare

Oricît de elementară ar fi expunerea precedentă, ea este suficientă pentru a scoate în evidenţă limitele teoriei stării staţionare, luată în forma sa originală. După ce au afirmat dependenţa fizicii de cosmologie, autorii acestei teorii nu pun totuşi în practică această idee. Nici un sistem de legi fizice nu rezultă din teoria lor cosmologică, a cărei compatibilitate cu teoriile existente, chiar dacă nu este formal exclusă la scară locală, este în orice caz foarte departe de a reieşi de la sine. În cosmologia relativistă ecuaţiile cîmpului asigură, este adevărat că în condiţii destul de specifice, legătura între fizica cosmică şi fizica locală. După ce s-a debarasat de conceptele şi de modul de gîndire din teoria einsteiniană, Milne s-a hotărît să abandoneze complet această teorie, asumîndu-şi în schimb sarcina de a reconstrui fizica pe baze noi. El a clădit pe această bază o dinamică nouă, urmată de o teorie a gravitaţiei şi de o teorie a electromagnetismului. Fără îndoială, succesul, apreciat în diferite feluri, al acestei acţiuni şi absenţa oricărui test experimental decisiv îndemnau la prudenţă în ceea ce priveşte însăşi posibilitatea unei încercări de acest fel.

Dar se putea spera de asemenea că principiul cosmologic perfect ar putea avea consecinţe determinate asupra legilor fizicii întrucît autorii teoriei stării staţionare considerau acest principiu capabil să asigure repetabilitatea fără restricţii a experienţelor. Or, dacă el conduce incontestabil la o teorie a Universului care frapează prin claritatea şi simplitatea sa şi prin posibilităţile de confruntare directă cu observaţia pe care le oferă, nu se poate totuşi spune că ar fi aruncat pînă acum o lumină nouă asupra formei sau conţinutului legilor fizice fundamentale.

Fizicianul cel mai apropiat în anumite privinţe de gîndirea lui Bondi şi Gold, Fred Hoyle, este şi acela care a apreciat poate cel mai bine toate dificultăţile pe care le implică aplicarea principiului

cosmologic perfect la determinarea legilor fizice și a evaluat în ce măsură se ciocnește metoda lor cu uzanțele cele mai solide ale metodologiei fizice. Vom vedea mai departe că, în ceea ce-l privește, Hoyle acceptă rezultatele lui Bondi și Gold — metrica cosmică staționară și generarea de materie — dar nu și principiile lor și că el vrea să regăsească aceste rezultate pornind de la ecuațiile lui Einstein, modificate adecvat, și nu prin deducere din principiul cosmologic perfect. După el, există două obstacole în calea deducerii unei teorii fizice pornind de la principiile lui Bondi și Gold :

a. Mai întîi, „cuplajul'' foarte puternic dintre Universul îndepărtat și fizica locală, implicat de principiul lui Mach, nu permite să se conceapă o experiență total dirijată. Pe de altă parte, o teorie bazată pe aceste principii ar trebui să țină cont de forțele electromagnetice și de forțele nucleare, care desigur nu sînt lipsite de legătură cu proprietățile metrice ale materiei.

b. Principiul cosmologic perfect este satisfăcut numai la scară mare și nu local. Dar, întreabă Hoyle, pe ce considerații trebuie să ne sprijinim pentru a explica de ce acest principiu nu este satisfăcut riguros și pentru a determina cu precizie la ce scară este el valabil?[1]

Dealtfel, Bondi și Gold sînt de acord într-o anumită măsură cu toate acestea, fără a aproba totuși fără rezerve încercarea lui Hoyle[2]. În particular, ei recunosc caracterul statistic al principiului cosmologic perfect, ceea ce interzice practic utilizarea sa pentru deducerea unei legi locale de mișcare pentru o particulă „liberă'', independentă de expansiunea generală.

Dificultatea de a obține din principiul cosmologic perfect — care nu este de fapt perfect decît la scară cosmică și care, dacă este aplicat local, nu interzice în mod formal nimic — legi care trebuie să fie, dimpotrivă, riguroase la scara locală, nu este decît una din formele pe care le ia pentru fizica modernă enigma generală a acordului dintre ideea clasică de lege, pe care nu o poate abandona, și necesitatea din ce în ce mai imperioasă pe care o simte de a face un loc din ce în ce mai mare, în conceptele sale, noțiunilor derivate mai mult sau mai puțin din ideea naivă de hazard.

Ecuațiile relativiste ale cîmpului sînt riguroase și permit deduceri numerice de o precizie incredibilă. Planeta Mercur, obiect mai puțin decît infinitezimal la scara cosmică, dacă putem spune așa,

---

[1] F. HOYLE, *On the Cosmological Problem*, Monthly Notices Royal Astr. Soc., 109, *3*, 1949, §§ 4, 2, pp. 368–371.

[2] Totuși, rezervele formulate de Bondi și Gold față de teoria lui Hoyle (*mem. cit.*, p. 269) dispar aproape complet în *Cosmology*, unde Bondi pînă la urmă are mai curînd tendința să scoată în evidență avantajele punctului de vedere al lui Hoyle (pp. 152–156).

nu este o entitate teoretică obţinută prin analiză statistică, ci un obiect real, bine individualizat. Deplasarea reziduală a periheliului său, evaluată prin observaţie la patruzeci şi două de secunde de arc pe secol, nu este o deplasare medie şi nu îşi datorează valoarea sa mică unei medieri. Ceea ce decide asupra valorii relative a teoriei newtoniene şi a teoriei einsteiniene a gravitaţiei este previziunea riguroasă a mişcării unui corp individual. Este clar că orice teorie a mişcării care ar vrea să se substituie acestora ar trebui ca, aplicată aceluiaşi fenomen individual sau unuia analog, să dea rezultate cel puţin la fel de bune. Dar, între scara cosmică, unde principiul cosmologic perfect îşi impune rigoarea, şi scara în care legile dinamicii îşi manifestă precizia lor uimitoare există de fapt întregul domeniu al ştiinţei efective a fenomenelor astronomice. În această ştiinţă însăşi natura problemelor şi a mijloacelor de care dispunem pentru a le rezolva impun numărători, medieri, diverse metode de aproximaţie, în cadrul ei, obiectul individual se lasă cu greu sesizat în evoluţia sa singulară, fie că el apare în sine ca un conglomerat parţial structurat sau un cvasiindivid (o galaxie, o nebuloasă difuză, un roi de stele), fie că, bine individualizat în sine, el nu pune la dispoziţie istoria sa decît într-un anonimat în care se află însoţit de mulţimea strămoşilor sau vecinilor săi, într-o schemă sau o clasificare mai mult sau mai puţin imprecisă în care a putut fi situat. Astfel, o stea, al cărei destin unic — care ar putea fi desigur cunoscut cu toată rigoarea de către un astronom care s-ar deosebi de observatorul uman prin poziţia sa diferită în spaţiu şi prin durata mai lungă a observaţiei sale — nu apare pentru noi decît ca o linie punctată pe diagrama culoare-magnitudine; o anume lacună în traseu însemnînd poate viaţa sau moartea unui sistem planetar, întreaga istorie a unei alte umanităţi, civilizaţii milenare, abia discernabile în privirea noastră de miopi, care înregistrează o vîlvătaie de cîteva zile, chiar de cîteva ore sau de cîteva minute.

Cu toate că, asociind repetabilitatea experienţelor cu principiul cosmologic perfect, autorii T.S.S. au lăsat să se creadă că rigoarea acestui principiu nu este străină de rigoarea legată de previziunea unei mişcări punctuale, ei nu au exprimat pînă acum concret această relaţie, nici nu au explicat cum ar putea fi ea împăcată cu interpretarea statistică a principiului cosmologic perfect.

Ar fi dealtfel nedrept să facem din aceasta o vină numai teoriei stării staţionare şi mai ales să găsim aici motive pentru a prefera cosmologia relativistă, căci şi în interiorul teoriei relativităţii se produce acelaşi salt brusc de la un tip de adevăr la altul, atunci cînd se trece de la problema planetară la problema cosmologică.

Deducerea elementului ds^2 al lui Schwarzschild, care determină mişcarea planetelor, se bazează — ca întotdeauna cînd se aplică o lege la un caz particular — pe ipoteze simplificatoare, dar aceste ipoteze nu sînt diferite de cele pe care se baza deducerea newtoniană a legilor lui Kepler. Ele nu au nimic statistic şi mai curînd urmăresc să elimine partea de hazard din mişcarea reală, decît să o includă în deducţie. Dimpotrivă, atunci cînd cosmologia relativistă, pentru a putea obţine soluţiile cosmice ale ecuaţiilor cîmpului, asimilează materia din Univers unui „fluid perfect", adică omogen şi continuu, în timp ce observaţia arată clar o remarcabilă eterogenitate şi o considerabilă discontinuitate în distribuţia maselor şi a radiaţiei, este clar că ipoteza ar fi pur şi simplu absurdă dacă nu ar fi însoţită implicit de ideea că hazardul, cu alte cuvinte absenţa oricărei arhitecturi şi a oricărei organizări la scară mare, este echivalent, din punct de vedere conceptual şi matematic, cu continuitatea şi omogenitatea considerate efectiv. În legătură cu aceasta, analogia cu un *gaz* sau, după nevoie, cu un *lichid* poate oferi desigur justificări serioase, căci studiul experimental şi teoretic al acestor obiecte familiare ale fizicii atestă valoarea acestei echivalenţe din punct de vedere metodologic. Dar verificarea experimentală strictă la care pot fi supuse conceptele hidrodinamicii terestre lipseşte complet atunci cînd este vorba de „fluidul cosmic", de „gazul de galaxii" sau de „liniile de curent" ale Universului.

Unul dintre meritele, dar în acelaşi timp poate şi una dintre părţile slabe pe care le are teoria stării staţionare este faptul că pune mai bine în lumină acest contrast dintre punctul de vedere cosmologic şi punctul de vedere local, absenţa oricărei similitudini veritabile între determinismul cosmologic (chiar conceput în modul cel mai riguros) şi determinismul fizic. Lecţia dă de gîndit, desigur, avînd în vedere că la celălalt orizont, acela al microfizicii, au apărut de mai mult timp învăţăminte analoage.

D. Teoria inerţiei a lui D. W. Sciama

Este natural şi, dealtfel, în conformitate cu propria sa opinie, să situăm cercetările lui D. W. Sciama în cadrul teoriei stării staţionare. Cu toate acestea în problematica generală a cosmologiei moderne, ca şi în problematica mai restrînsă a acestei teorii, modul său de a vedea lucrurile tinde să izoleze anumite tipuri de probleme şi să scoată în relief anumite teme epistemologice caracterizate de o deosebită claritate. Ceea ce îl interesează în

primul rînd este căutarea unei acţiuni directe a ansamblului materiei cosmice asupra fenomenelor locale, căci pentru el această acţiune directă este nu numai reală, ci şi esenţială şi orice teorie fizică coerentă şi completă ar trebui să ţină cont de ea. Viziunea lui Sciama este în mod esenţial realistă şi sintetică. Legile exprimă o acţiune reală care trebuie înţeleasă mergînd de la totalitate la element. În schimb, problemele legate de structura metrică trec pe planul al doilea, iar logica înfăţişării se estompează. În ceea ce priveşte geometria spaţiu-timp-ului, teoria inerţiei a lui Sciama, în starea sa actuală, se bazează pe ipoteze simplificate, care nu sînt compatibile exact cu modelele cosmologiei, cu toate că ele implică expansiunea ca pe o condiţie indispensabilă.

Găsim deci la Sciama, oarecum în stare pură, versiunea realistă a cosmologiei moderne. Din cauza postulatelor lor epistemologice şi din cauza rolului pe care îl atribuie principiului cosmologic perfect, Bondi şi Gold nu ajung să se debaraseze complet de idealismul milnean, iar Hoyle, care este departe de a acorda aceeaşi importanţă logicii aparenţelor, este totuşi abătut de la un realism simplu şi direct şi mai ales de la monism de multe gînduri ascunse de natură filozofică şi estetică, aşa cum vom vedea. Pentru Sciama, dimpotrivă, însuşi conceptul de cosmologie este analitic legat de cel al unei acţiuni a totalităţii asupra elementului, întrucît pentru el, cele trei „legi" ale cosmologiei se pot enunţa astfel:

1. Universul în întregime exercită forţe apreciabile asupra materiei locale.

2. Procesele locale ireversibile sînt legate de expansiunea ireversibilă a Universului.

3. Conţinutul Universului are tot atîta semnificaţie ca şi legile de care el ascultă[1].

Odată explicitată clar prima „lege" şi avînd în vedere paradoxul lui Olbers — căruia Sciama, ca toţi autorii care se reclamă a fi adepţi ai teoriei stării staţionare, îi atribuie o importanţă capitală — este destul de uşor de arătat cum şi în ce condiţii ar putea o teorie a inerţiei să satisfacă principiul lui Mach: ar fi suficient ca inerţia corpului de probă să fie produsă de acceleraţia relativă a materiei înconjurătoare, dar în aşa fel încît inerţia indusă în corpul de probă de către un element material să fie invers proporţională cu distanţa r de la acest element pînă la corpul de probă.

---

[1] D. W. SCIAMA, *Les trois lois de la Cosmologie*, trad. L. Bouche, Annales de l'Institut H. Poincaré, XVII, 1, 1961, pp. 15—24.

Într-adevăr, dacă acţiunea fizică (oarecare) exercitată de elementul material situat la distanţa r se exprimă ca funcţie de $\frac{1}{r^n}$, se observă că valoarea lui n are o influenţă enormă asupra aspectului cosmologic al acţiunii în cauză. Dacă n este suficient de mare, acţiunea corpurilor îndepărtate devine neglijabilă, iar dacă n este egal cu 1, această acţiune devine, dimpotrivă, preponderentă. Este ceea ce reiese clar din tabloul întocmit de Sciama pentru $n = 1, 2, 3, 4$. Pentru $n = 4$ şi $n = 3$, acţiunea mediului înconjurător apropiat o depăşeşte pe cea a lumii îndepărtate. Lucrurile nu mai stau aşa pentru $n = 2$, caz deosebit de important, pentru că el corespunde legii clasice a gravitaţiei şi legii de propagare a radiaţiei ; dacă $n = 2$, materia îndepărtată contează deja mai mult decît materia apropiată. Aceasta este originea paradoxului lui Olbers, care pentru Sciama, ca şi pentru Bondi, nu poate fi rezolvat decît prin acceptarea expansiunii. Trebuie totuşi să facem o precizare importantă, şi anume că, dacă unei distribuţii omogene de materie în jurul corpului de probă i se adaugă accidental un corp foarte apropiat, atunci legea în $\frac{1}{r^2}$ face ca acţiunea sa să fie preponderentă (astfel atracţia Soarelui şi radiaţia sa exercită asupra Pămîntului o acţiune atît de puternică încît ea le elimină practic pe toate celelalte). În schimb, în cazul în care $n = 1$, nu numai că acţiunea regulată şi uniformă a materiei îndepărtate o depăşeşte foarte mult pe aceea a materiei apropiate, dar chiar şi acţiunea excepţională a unui corp foarte apropiat devine neglijabilă.

Deci, dacă acţiunea care induce inerţia în corpurile de probă scade cu distanţa ca $\frac{1}{r}$, această inerţie nu este practic modificată de acceleraţiile corpurilor celor mai apropiate. Este deci natural ca inerţia să apară ca depinzînd numai de corpul inert, excluzînd orice acţiune a mediului înconjurător. Aceasta ar explica faptul că fondatorii dinamicii au crezut că pot formula o deosebire de natură între forţele de inerţie şi forţele de gravitaţie, cînd în realitate singura diferenţă ar fi cea care îl deosebeşte pe 1 de 2...

Teoria inerţiei construită de Sciama conduce efectiv la a pune inerţia corpului de probă pe seama unei „inducţii'' rezultate din accelerarea materiei înconjurătoare, această acţiune descrescînd cu distanţa r ca $\frac{1}{r}$. În felul acesta, principiul lui Mach este com-

plet exprimat. Într-adevăr, în dinamica clasică, atunci cînd un corp este accelerat în raport cu un sistem de inerţie, apar forţe „fictive" de inerţie care completează descrierea acţiunilor la care corpul este supus. Spunem „fictive" pentru că dinamica clasică nu le atribuie ca celorlalte caracterul unor forţe rezultînd din interacţia cu mediul înconjurător. Or, experienţa arată că sistemele de inerţie sînt în repaus faţă de materia îndepărtată (spre exemplu planul de oscilaţie al pendulului lui Foucault rămîne fix în raport cu stelele). Principiul lui Mach cere ca acceleraţia relativă a corpului de probă în raport cu această materie, presupusă global în repaus, să fie cea care induce forţele de inerţie care acţionează asupra corpului de probă.

Cum a fost obţinut acest rezultat din punct de vedere tehnic? Nu vom da decît principiul soluţiei, care este destul de complicată şi, după însăşi mărturisirea autorului, incompletă. Oricare ar fi viitorul acestei încercări, ea este interesantă din punct de vedere epistemologic şi istoric şi ilustrează bine anumite idei dominante ale cosmologiei moderne[1]. Sciama crede că poate obţine soluţia problemei într-o teorie a gravitaţiei analoagă matematic cu teoria maxwelliană a electromagnetismului. Pornind de la teoria clasică, în care forţa de gravitaţie derivă dintr-un potenţial scalar, Sciama adaugă un potenţial vectorial, definind apoi ambele potenţiale prin aceleaşi integrale care definesc potenţialele corespunzătoare din electromagnetism, masa gravitaţională luînd locul sarcinii electrice. Cîmpul gravitaţional devine cîmpul „gravoelectric" (pentru a sublinia analogia formală), adăugîndu-se şi un cîmp „gravomagnetic" ale cărui efecte se manifestă în rotaţii.

Analogia maxwelliană sugerează deci că cîmpul gravitaţional nu mai derivă dintr-un potenţial scalar unic. Expresia sa formală conţine un termen proporţional cu derivata în raport cu timpul a potenţialului vectorial; aici se află originea forţei de inerţie.

Dacă nu ar exista expansiunea Universului, potenţialul produs de ansamblul maselor din Univers ar fi infinit $\left(\right.$raţionamentul care conduce la paradoxul lui Olbers este valabil cu atît mai mult pentru o acţiune care variază ca $\left.\frac{1}{r}\right)$. Valoarea sa efectivă, finită, se obţine extinzînd integrala care îl defineşte la domeniul interior.

[1] D. W. SCIAMA, *On the Origin of Inertia*, Monthly Notices of the Royal Astr. Soc. *1*, 1953, pp. 34—49; o versiune simplificată este propusă în *The Unity of the Universe, op. cit.*, pp. 108—120.

al sferei pe care corpurile au o viteză de recesiune egală cu cea a luminii. De aici rezultă o relație numerică între mărimi care pot fi determinate empiric [1], constanta gravitațională γ, constanta lui Hubble H_0 și densitatea medie a materiei din Univers ρ:

$$\frac{\gamma \rho_0}{H_0^2} = 1.$$

Această relație numerică este verificată efectiv cu o aproximație satisfăcătoare, ținînd cont de ordinele de mărime extrem de diferite ale numerelor în cauză. Aceasta este, așa cum vom vedea, tocmai una din relațiile numerice remarcabile pe care anumiți cosmologi au crezut că-și pot baza raționamentele. Este într-adevăr singurul punct de incidență cu cîmpul experimental al teoriei lui Sciama.

Indiscutabil, această teorie are avantajul de a pune în practică direct principiul lui Mach, atenuînd într-o oarecare măsură $\left(\text{prin studiul consecințelor unei legi în } \frac{1}{r}\right)$ ceea ce este insolit în aserțiunea după care galaxiile îndepărtate sînt într-un fel răspunzătoare de mișcarea care-i face pe călătorii dintr-un autobuz să cadă unii peste alții atunci cînd șoferul frînează prea brusc... Teoria are totuși inconveniente, de care autorul este conștient: analogia cu teoria lui Maxwell nu este valabilă decît în primă aproximație. Mai mult, pentru ca teoria inerției să fie într-adevăr satisfăcătoare, ar trebui ca forțele să derive nu dintr-un potențial vectorial, ci dintr-un potențial tensorial de ordinul doi. În acest caz ar putea fi luată în considerație și curbura spațiului, dar formalismul ar deveni mult mai complicat. Cu toate acestea, numai în felul acesta s-ar putea înțelege în mod exact raportul dintre teoria inerției a lui Sciama și relativitatea generalizată, raport care, după Bondi, rămîne „obscur".

Teoria inerției a lui Sciama suscită și unele remarci de ordin istoric. Ea oferă, într-adevăr, exemplul — fără îndoială că nu unicul — unei idei și al unei teme de cercetare care, după o uitare îndelungată și aparent totală, se ivește în împrejurări cu totul noi. Căci, ceea ce face Sciama este să reînvie după o perioadă de optzeci de ani, sărind peste perioada cea mai fecundă din întreaga istorie a fizicii, o încercare nefericită și uitată a lui Félix

---

[1] Folosim, pentru comoditate, notațiile din Anexa noastră și nu pe cele ale lui Sciama.

Tisserand[1]. În 1872, ecuaţiile lui Maxwell aveau vîrsta de opt ani, iar Tisserand avea douăzeci şi şapte de ani. Era natural ca un spirit tînăr şi îndrăzneţ să fi dorit să încerce marea sinteză care ar fi reunit într-o aceeaşi teorie principalele tipuri de interacţie fizică. Dar Tisserand nu a reuşit să deducă, aşa cum spera, mişcarea periheliului planetei Mercur şi nici vreun alt fapt observabil nou. Încercarea sa nu a avut urmări. Atunci cînd proiectul său a fost reînviat, perspectiva se transformase, iar renaşterea cosmologiei schiţase un fundal cosmic care lipsea în secolul precedent, oferind în acelaşi timp posibilităţi şi speranţe noi pentru controlul empiric.

Sciama voia să obţină din teoria sa asupra inerţiei o soluţie completă şi definitivă a „paradoxului lui Langevin", arătînd că întîrzierea pe care o suferă ceasul călătorului în timpul cuprins între plecarea şi întoarcerea sa rezultă în cele din urmă din mişcarea călătorului în raport cu ansamblul materiei cosmice, ceea ce exclude, în particular, posibilitatea ca ceasul terestru să fie acela care întîrzie în raport cu ceasul călătorului. Analiza precisă a „paradoxului" lui Langevin, în vederea separării problemelor adevărate pe care le ridică de cele false, nu îşi are însă locul în prezenta lucrare.

Mai recent, Brans şi Dicke au făcut o nouă încercare, înrudită pînă la un anumit punct cu cea a lui Sciama, de a stabili o teorie care să explice apariţia forţelor de inerţie din acţiunea maselor îndepărtate din Univers asupra corpului de probă şi care, în consecinţă, să satisfacă integral principiul lui Mach. Acest rezultat, obţinut printr-o metodă variaţională, este însoţit de o modificare a ecuaţiilor lui Einstein. În teoria lui Dicke, ca şi în teoriile altora (Dirac, Jordan), de care va fi vorba mai departe, „constanta" gravitaţională γ suferă o scădere seculară. Modelele robertsoniene de univers compatibile cu ecuaţiile lui Dicke diferă puţin de modelele corespunzătoare ale lui Friedman. Dimpotrivă influenţa variaţiei lui γ asupra evoluţiei stelelor (luminozitatea lor depinde de γ la puterea a 7-a) ar trebui, după Dicke, să permită o ajustare mai bună a scării timpului cosmologic cu cea a proceselor astrofizice[2].

---

[1] În memoriul său din 1953, Sciama nu-l menţionează pe Tisserand; îl citează în schimb în cartea sa din 1959. Este deci posibil ca Sciama să nu fi observat decît mai tîrziu că avea un precursor. Această coincidenţă prezintă un interes şi mai mare din punct de vedere istoric dacă se dovedeşte că nu a fost intenţionată.

[2] C. BRANS, R. H. DICKE, *Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation*, Phys. Rev., 24, 1961, pp. 925—935; R. H. DICKE, *Implication to Cosmology of Galactic Evolution Rates*, Rev. Mod. Phys., 34, *1*, 1962, pp. 110—122.

E. Teoria stării staționare: versiunea nedeductivă a lui Fred Hoyle

Numele lui Hoyle este mai popular decît cele ale lui Bondi, Gold sau Sciama. Reputația lui Hoyle în lumea științei a fost asigurată nu numai de numeroasele și remarcabilele lucrări de astrofizică, ci și de faptul că, încă de mai mulți ani, acest om de știință a căutat și a găsit contactul cu „marele public cultivat". Conferințele radiofonice, cărțile de popularizare și romanele sale i-au asigurat în Marea Britanie, apoi în alte țări un renume. Alăturat din 1948 teoriei stării staționare a lui Bondi și Gold, sau mai curînd conținutului cosmologic al acestei teorii, Hoyle a devenit cel mai constant și cel mai hotărît apărător al ei. Simultan cu Sciama, el a contribuit cu lucrări importante la dezvoltarea cosmogoniei. Pînă la urmă a ajuns chiar să se răspîndească părerea că teoria stării staționare este teoria lui Hoyle, ceea ce nu este decît parțial adevărat. Într-adevăr, în afară de faptul că concepția inițială revine lui Bondi și Gold, Hoyle nici nu a adoptat măcar toate ideile acestor autori; el a criticat chiar destul de viguros metoda lor, după cum am văzut.

În ceea ce-l privește, el abordează deci problema cosmologică cu idei diferite și cu o metodă diferită. Dacă regăsește totuși modelul staționar, o face pe o altă cale. Pentru el, principiul cosmologic perfect nu are deloc aceeași importanță ca pentru Bondi și Gold; acest principiu de natură epistemologică cedează în mod vizibil în gîndirea sa locul conceptului cosmogonic de *generare continuă*.

Pentru a ajunge la acest rezultat desigur frapant, pentru că lovește în obișnuințele cele mai solide ale gîndirii din știința pozitivă, Hoyle folosește o metodă de fapt mult mai tradițională decît cea a lui Bondi și Gold și mult mai puțin diferită de cea a cosmologiei relativiste. Într-adevăr, el acceptă ecuațiile lui Einstein și se mărginește să le aducă o modificare care nu are efect decît la scară cosmică. Această metodă nu este absolut diferită de cea a cosmologilor care păstrează în ecuații termenul cosmic în Λ, în ciuda recomandării lui Einstein, și care modifică ipotezele suplimentare general admise în cosmologia relativistă, fără ca observația să le ofere vreun motiv direct pentru a face aceasta.

Astfel, într-un anumit fel, cu toate că temperamentul său științific pare să se opună acestei interpretări, opera lui Hoyle marchează în cosmologia nouă o anumită întoarcere la „înțelepciune" adică la ecuațiile lui Einstein. Trebuie însă să facem cu grijă dis-

tincţia între metodologia şi filozofia lui Hoyle, deşi acest ultim cuvînt nu este prea adecvat, în măsura în care ne face să ne gîndim la o reflecţie metodică şi sistematică. Pe cît este metodologia de pozitivă şi de tradiţionalistă, pe atît de puţin este filozofia. Prin urmare, dacă la Hoyle există o relaţie între filozofie şi ideile cosmologice, aceasta este de o cu totul altă natură decît la Milne sau Bondi. Să spunem că este vorba mai curînd de o poetică a cosmosului, care, dacă orientează gîndirea cosmologică a lui Hoyle pe anumite căi şi îl face să prefere o anumită imagine a Universului sau unele mari procese astrofizice, nu îi impune totuşi nici o obligaţie şi nici o interdicţie metodologică.

Această filozofie se întîlneşte într-o formă difuză în memoriile tehnice ale lui Hoyle şi ceva mai net schiţată în lucrările sale de popularizare. Fără îndoială însă, ea se manifestă cu cea mai mare strălucire în lucrările sale de ficţiune.

Este vorba, în acelaşi timp, de un materialism şi de un naturalism. Universul este etern şi îşi este suficient sieşi. Legile naturii şi existenţa lui efectivă nu pot fi separate şi, în această privinţă, gîndirea lui Hoyle nu se deosebeşte de cea a lui Sciama. Totuşi, materia se reînnoieşte fără încetare şi formele sale de existenţă sînt infinite. Este o absurditate să o concepem ca inertă şi uniformă [1].

Nu există nici o îndoială că dincolo sau dincoace de motivele pe care putea să le aibă astrofizicianul pentru a prefera teoria stării staţionare, în ralierea lui Hoyle un rol important l-a jucat acest motiv filozofic sau estetic. În primul memoriu pe care l-a scris asupra acestui subiect, tema dominantă nu este, ca în cel al lui Bondi şi Gold, cerinţa epistemologică a repetabilităţii experienţelor şi principiul cosmologic perfect, ci generarea continuă, care la predecesorii săi nu era decît o consecinţă surprinzătoare, dar inevitabilă a principiilor lor. Încă din primele rînduri ale articolului lui Hoyle, această idee se impune ca şi cum ar avea, prin ea însăşi, o putere intrinsecă de seducţie şi citirea acestui articol [2] dă impresia, desigur falsă pe planul discuţiei raţionale, dar mai puţin falsă la nivelul motivărilor estetice, că scopul principal al lui Hoyle este de a arăta că generarea considerată ca fenomen fizic interior Universului, „natural”, nu este o simplă

---

[1] „... Ideea că materia este ceva inert şi neinteresant este desigur cea mai mare prostie. Dacă întîmplător există ceva mai minunat, mai extraordinar decît materia în infinita varietate a comportărilor sale, acesta este un lucru despre care nu am auzit vorbindu-se”. (F. HOYLE, *Aux frontières de l'Astronomie*, trad. M. et E. Vincent, Corrêa, Paris, 1956, p. 242).

[2] F. HOYLE, *A New Model of the Expanding Universe*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 108, 5, 1948, pp. 372—382.

fantezie a imaginației, ci o ipoteză care poate fi susținută rațional și care poate chiar fi exprimată, aproape fără a mai adăuga ceva, prin legile fizice cunoscute și general admise din moment ce o ușoară modificare a ecuațiilor lui Einstein este suficientă.

În acest Univers mereu identic cu sine însuși, dar în care, totuși, ia naștere fără încetare o materie nouă care se condensează în sisteme noi, ansambluri din ce în ce mai cuprinzătoare și din ce în ce mai complexe, se includ ierarhic unele în altele, fără ca vreo structură să poată fi concepută ca rezultat al unei simple compuneri a elementelor sale, căci, — și aceasta este o idee asupra căreia lui Hoyle îi face plăcere să revină — „o structură este ceva mai mult decît unitățile din care ea este formată [1]" sau, cum mai spune el, „Universul este mai mult decît părțile care îl constituie [2]". Astfel, în timp ce în spiritul lui Bondi, Gold și Sciama teoria stării staționare este în esență o teorie monistă, Hoyle este atras de pluralism și nu renunță la a concepe sau a-și imagina, în interiorul acestui Univers invariabil la scară foarte mare, întreaga diversitate posibilă. Astfel, așa cum am văzut, Universul staționar, care nu are nici trecut nici viitor, conține totuși obiecte individuale de o vîrstă oarecare, în cîmpul unui observator oarecare putînd întotdeauna să apară o galaxie de vîrstă arbitrară, de exemplu. Mai simplu, probabilitatea de a întîlni un obiect foarte bătrîn este foarte mică. În acest fel, faptul că Galaxia care îl conține pe observatorul uman are cei aproximativ douăzeci și cinci de miliarde de ani, pe care însuși Hoyle este dispus să îi atribuie, este o simplă întîmplare. În orice caz, viitorul său este infinit și chiar, prin aceasta, imprevizibil, căci, înconjurată de materie în formare, scăldîndu-se chiar în această materie tînără omniprezentă, Galaxia poate să capteze, cu timpul, cantități arbitrare de materie, alipite de cîmpul său gravitațional. Ca o aplicație a principiului după care întregul reprezintă mai mult decît suma părților sale, adăugarea de materie nouă la un sistem deja format are însă toate șansele de a modifica din punct de vedere calitativ, cu timpul, structura sa. Într-adevăr, din motive care țin de matematica relativității [3], soarta unui corp foarte dens este una din marile enigme ale cosmogoniei, iar dorința secretă a lui Hoyle de a întîlni necunoscutul și deosebitul își găsește aici o anumită justificare.

---

[1] F. HOYLE, *Aux Frontières de l'Astronomie, op. cit.*, p. 344.

[2] *Ibid.*, p. 368.

[3] Hoyle evocă momentul în care Galaxia va atinge un asemenea stadiu de condensare încît curbura spațiului va împiedica lumina să iasă și se întreabă ce fel de existență se va putea duce atunci . . . El se gîndește, desigur, că munca astronomilor va deveni mult mai limitată, Universul observabil reducîndu-se la Galaxie (*La Nature de l'Univers, op. cit.*, p. 122).

Pluralismul său se afirmă şi în alt context, în legătură cu procesul generării de materie şi cu poziţia sa în raport cu alte forme cunoscute ale interacţiunii fizice. *Cîmpului nuclear*, spune Hoyle, care asigură coeziunea materiei elementare, i se adaugă mai întîi *cîmpul electromagnetic*, care permite emisia şi absorbţia luminii de către atomi, apoi *cîmpul gravitaţional*, răspunzător de unitatea stelelor şi a galaxiilor şi, în sfîrşit, *cîmpul generării*, care exprimă o acţiune intim legată de expansiunea cosmică şi care se deosebeşte, în particular, de celelalte prin faptul că ceea ce este determinant în fiecare punct este influenţa materiei celei mai îndepărtate [1]. În tot acest pasaj, Hoyle se exprimă ca şi cum ar exista o deosebire ireductibilă între aceste moduri diferite de interacţiune, ceea ce are poate drept scop să-l facă pe cititor să admită mai uşor faptul că cîmpul generării se poate suprapune peste cîmpurile deja cunoscute, din moment ce el nu este mai deosebit de celelalte decît sînt acestea unele faţă de altele.

Totuşi, în scrierile ştiinţifice ale lui Hoyle, chiar în operele sale de popularizare, acest pluralism rămîne moderat şi în acelaşi timp veleitar. El se afirmă în schimb într-un mod mult mai radical şi mai îndrăzneţ într-una din operele sale de ficţiune, *The Black Cloud* [2], sub o formă atît de fantastică, încît numai gîndul că avem de-a face cu exagerări tipice ficţiunii ne linişteşte în privinţa adevăratelor idei ale autorului. Nu trebuie totuşi să ne încredem prea mult în acest gînd, căci, într-o scurtă prefaţă în care face cu ochiul puţinilor fericiţi (*the happy few*) capabili să citească printre rînduri, el îi invită să remarce că, în povestea sa, „nu intră decît foarte puţine lucruri pe care raţiunea le poate numi imposibile" şi, evident, se abţine să precizeze care sînt acestea...

În *The Black Cloud*, ierarhia structurilor cosmice suprapuse nu ia numai forma întrepătrunderii spaţio-temporale ; ea este o adevărată ierarhie în ordinea valorilor şi a puterilor care, în chip misterios şi tragic, desparte fiinţele cosmice unele de celelalte.

Dealtfel, partea serioasă şi aproape banală a acestei lumi fantastice este dezvăluită cu francheţe chiar de către autor, în alte scrieri. Hoyle are desigur în mod acut sentimentul limitării conştiinţei individuale, ba chiar a raţiunii umane în acţiunea sa de a se face stăpîna Universului prin cunoaştere. Acest sentiment se exprimă foarte viguros în anumite conversaţii, în care tema fantastică din *The Black Cloud* este tratată la modul etic : neliniştea sau iritarea provocate de propria limitare, sau de cea a umanităţii, deschide psihologic calea unei meditaţii metafizice în care se im-

---

[1] *Aux frontières ...*, *op. cit.*, p. 368.

[2] Vezi versiunea în limba franceză, *Le Nuage noir*, trad. J. Quéval, Paris, Dunod, 1962.

pune o anumită transcendență. Dar tocmai aici se desparte Hoyle de căile cele mai tradiționale. El se ridică cu vigoare, chiar cu asprime, împotriva noțiunii creștine de supraviețuire. Neînțelegînd, sau făcîndu-se că nu înțelege, că singura transcendență care ar putea să elibereze creștinismul de superstiție este cea a carității, Hoyle protestează împotriva unei idei de nemurire care în ochii săi nu are alt sens decît acela de a prelungi indefinit existența individului limitat și îngrădit în conștiința limitării sale: „Ceea ce îmi oferă creștinii este o eternitate a frustrării[1]". Hoyle ne încredințează — cît este glumă și cît este serios în această afirmație? — că nu crede că și-ar putea suporta propriile sale limitări mai mult de trei sute de ani, dar este destul de mulțumit de el însuși pentru a accepta să se acomodeze cu ele mai mult de șaptezeci de ani[2]...

Ce ar propune el, Hoyle, pentru a face tolerabilă existența în acest „Univers fantastic", în care „aproape nimic nu ne dovedește că existența noastră ar avea vreun sens"[3]? Răspunsul este clar și semnificativ: este chiar idealul pe care niște împrejurări extraordinare îl pun la dispoziția eroului din *Black Cloud*, fără ca el să izbutească totuși să-l atingă: „Ceea ce aș alege, ar fi o evoluție a vieții, grație căreia esența fiecăruia ar fi amalgamată într-o structură mai puternică și mult mai vastă[4]. „Dacă o anumită transcendență este posibilă și de dorit, aceasta trebuie să fie deci în interiorul lumii".

Trebuie să ne ocupăm acum de procedeele tehnice prin care Hoyle stabilește cosmologia staționară și dă o expresie formală pentru procesul de generare continuă. Remarcăm mai întîi că raționamentul cosmologic al lui Hoyle nu are puritatea logică a raționamentului lui Bondi și Gold, recunoscînd în același timp că concluziile sale sînt totuși mai satisfăcătoare din punct de vedere fizic. Incovenientul metodelor lui Hoyle constă în faptul că punctul către care tinde raționamentul este întotdeauna impus de la început: este vorba de a regăsi modelul staționar și generarea continuă, dar acest lucru nu este posibil decît făcînd diferite compromisuri. Hoyle fixează aprioric forma elementului cosmic ds^2 care trebuie găsit, sprijinindu-se mai ales pe experiența metodei deductive și fără să evite un anumit arbitrar în alegerea finală a metricii staționare. El vrea în același timp să păstreze teoria rela-

---

[1] F. HOYLE, *La Nature de l'Universe, op. cit.*, p. 131.

[2] *Ibid.*, p. 130. Cînd scria aceste rînduri, Hoyle avea treizeci și cinci de ani.

[3] *Ibid.*, p. 128.

[4] *Ibid.*, p. 131.

tivității ca bază fizică a edificiului cosmologic, renunțind totuși la una din condițiile pe care ar trebui să le satisfacă ecuațiile acesteia.

Dealtfel, cu toate că ideile sale de bază au rămas neschimbate, Hoyle și-a modificat sensibil de-a lungul anilor procedeele formale și procedeele de demonstrație ale teoriei sale. După cîte știm, pînă acum el a dat patru versiuni și între prima și ultima există deosebiri importante [1]. Motivul acestor compromisuri și încercări repetate de ajustare este destul de ușor de înțeles și este important să fie luat în considerare : atras foarte puternic de rezultatele lui Bondi și Gold, Hoyle nu a apreciat în aceeași măsură și metoda lor, pe care a criticat-o dealtfel, așa cum am văzut, destul de viguros. Aceasta pentru că în epistemologie, pozițiile sale sînt mult mai clasice. El nu este atît de ostil definirii cunoașterii cosmologice ca rezultat al unei inducții care pornește de la cunoștințe locale. Monismul nu este punctul său forte, iar meritele principiului cosmologic perfect nu i se par indiscutabile, pentru simplul motiv că acest principiu nu este aplicabil mediului cosmic din vecinătatea noastră, chiar dacă mergem pînă la distanțe enorme.

Într-adevăr, Hoyle abordează problema cosmologică cu preocupările astrofizicianului sensibil la nepotrivirea care apare atunci cînd se confruntă modelele de univers uniformizate (*smoothed-out*), cu realitatea cosmică observată cel mai bine, adică cea mai apropiată. Ca fizician care caută o descriere coerentă a proceselor astronomice concrete, el are nevoie de o teorie fizică a cîmpului pe care metoda deductivă nu o oferă, de unde rezultă o distrugere a continuității între fizica cosmică „locală" și cosmologia de structură. În sfîrșit, angajat într-o acțiune precisă de *explicare* a evoluției stelare care face apel la mecanisme nucleare extrem de fine și în parte cunoscute de fizica experimentală, Hoyle nu poate fi complet satisfăcut de o cosmologie globală într-un sens unilateral și descriptivă, avînd în vedere că ea implică generarea de materie. Afirmarea atît de repetată și aplicarea aproape întotdeauna cu succes a principiilor de conservare a sfîrșit prin a face inutilă întrebarea : „De ce și cum se conservă lucrurile?" În schimb, un fizician care postulează generarea continuă ca fenomen fizic ajunge în mod natural să se întrebe cum are loc această generare. Și într-adevăr, Hoyle nu a considerat niciodată că s-ar putea mulțumi cu o definiție pur „fenomenologică" a generării.

---

[1] F. HOYLE, *A New Model of the Expanding Universe*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 108, *5*, 1948, pp. 372—382; *On the Cosmological Problem*, M. N. R. A. S., 109, *3*, 1949, pp. 364—371; *The Steady State Theory*, în *La Structure . . . , op. cit.*, pp. 53—57; *A Covariant Formulation of the Law of Creation of Matter*, M. N. R. A. S., 120, *3*, 1960, pp. 257—262.

Pe scurt, ghicim în spiritul lui Hoyle o anumită tensiune între exigențele gîndirii cosmologice și cele ale gîndirii fizice. Aceasta explică dealtfel și evoluția ideilor sale teoretice. Într-adevăr dacă se compară mai ales ultima versiune a raționamentului său cosmologic cu prima, sensul modificării, încă incert în încercările intermediare, apare acum perfect clar și absolut conștient.

În memoriul din 1960, determinarea modelului cosmologic și-a pierdut în primul rînd importanța sa relativă. Hoyle se menține mereu în cadrul modelului staționar al lui de Sitter, dar de data aceasta mai puțin strict, pentru că se ia în considerare posibilitatea unei variații seculare foarte lente a constantei de recesiune. De data aceasta scopul principal al cercetării este formularea, în modul cel mai clasic posibil, a unei legi pentru generarea de materie ca fenomen fizic. Hoyle s-a reîntors la „ortodoxismul" relativist, în sensul că adoptă fără modificări formalismul lui Einstein și că vrea ca teoria sa să fie în întregime în conformitate cu principiul general de covarianță, considerat ca fundamental în teoria relativității și a cărui valoare este atestată de toate succesele fizice ale acestei teorii. Generarea de materie nu mai apare de acum înainte decît sub forma unui element nou, care trebuie adăugat tensorului energie-impuls care figurează în membrul al doilea al ecuațiilor lui Einstein.

Acest procedeu nu este adoptat de Hoyle decît după o discutare aprofundată a problemei generale a covarianței ecuațiilor care se aplică pentru descrierea Universului (covarianța însemnînd independența conținutului metric al ecuațiilor față de sistemul de coordonate ales pentru reperarea mărimilor care apar în ecuații). Această problemă l-a preocupat întotdeauna pe Hoyle, care încă de la prima sa încercare în domeniul cosmologic își fixase atenția asupra unei dificultăți care există în stare latentă în întreaga cosmologie modernă : contrastul dintre proprietățile de covarianță ale ecuațiilor relativiste și proprietățile neinvariante ale Universului pe care se presupune că ele trebuie să-l descrie.

La drept vorbind, dificultatea apăruse încă de la începuturile cosmologiei relativiste, căci acesta a fost unul din punctele dezacordului dintre de Sitter și Einstein. Modelul închis al lui Einstein presupunea un sistem absolut de repaus și implica un timp cosmic, deci un sistem de coordonate privilegiat. S-a văzut apoi, odată cu modelul lui de Sitter, ce consecințe avea în cosmologie utilizarea liberă a proprietăților de covarianță ale ecuațiilor cîmpului. O asemenea schimbare de coordonate tulbura de sus pînă jos structura Universului, dădea naștere la paradoxuri, punea în pericol

orice cercetare (*insight*) cosmologică [1]. Principiul lui Weyl, restabilind timpul cosmic şi selecţionînd o familie de repere fundamentale, a rezolvat problema în favoarea lui Einstein şi a Universului neinvariant, în defavoarea lui de Sitter şi a utilizării cosmologice a principiului de covarianţă.

Cosmologia deductivă a confirmat în felul ei această decizie. Înlăturînd de la început orice teorie a cîmpului fizic, şi asimilînd axiomatic Universul cu un sistem de observatori „echivalenţi", adică aprioric conectaţi, cu excluderea tuturor celorlalţi, prin folosirea unui anumit grup de transformări, ea a deplasat problema, readucînd-o la frontiera dintre fizică şi cosmologie. În sistemul lui Milne nu se poate găsi acelaşi tip de invarianţă la nivelul „sistemelor statistice" şi la nivelul *substratum*-ului. Pentru Bondi şi Gold, generarea de materie trebuie să fie asociată direcţiei privilegiate a spaţiului, adică existenţa unui sistem de repere fundamentale are într-adevăr o semnificaţie fizică.

În ceea ce-l priveşte pe Hoyle, el nu a găsit însă niciodată această poziţie cu adevărat satisfăcătoare. Generarea de materie este un fenomen fizic, chiar microfizic, el trebuie să fie deci exprimat prin ecuaţii care să aibă aceleaşi caracteristici de covarianţă ca şi ecuaţiile care exprimă celelalte fenomene fizice elementare. Aceasta este poziţia la care a ajuns pînă la urmă după multe nedumeriri. În memoriul din 1960, după o scurtă trecere în revistă a etapelor propriei sale evoluţii, Hoyle constată că dificultatea este „reală şi foarte serioasă". Toate teoriile macroscopice, de dinainte şi de după apariţia relativităţii, constată el, au ajuns, nu din motive de utilitate, ci „într-un mod cu totul fundamental" la alegerea unor sisteme de coordonate speciale; coerenţa teoriei newtoniene depinde de ipoteza spaţiului absolut, căreia Mach voia să-i substituie definirea la fel de puţin invariantă a unui sistem de inerţie ca sistem în repaus în raport cu materia îndepărtată. În relativitate, comportarea unei singularităţi izolate, în conformitate cu soluţia lui Schwarzschild, depinde de condiţiile la limită, care nu sînt asigurate decît de izotropia Universului, toate acestea fiind dealtfel în acord cu experienţa obişnuită, care dovedeşte existenţa unor sisteme de coordonate speciale. Or, succesul în microfizică al ipotezei generale de covarianţă din teoria relativităţii este în dezacord cu aceasta. Hoyle consideră puţin satisfăcătoare acea soluţie a dilemei care constă din ocolirea problemei prin presupunerea că timpul este închis spre trecut, ceea ce implică faptul că ecuaţiilor le sînt impuse artificial anumite condiţii la limită. Atunci cînd

---

[1] Vezi mai sus, cap. II, p. 52.

timpul se deschide spre $-\infty$, soluţia este mai dificilă. În cazul acesta apar două posibilităţi: sau trebuie arătat în ce mod nişte condiţii iniţiale, total arbitrare, trebuie să conducă la omogeneitate şi izotropie, caz în care nu se poate evita introducerea în ecuaţii a unor condiţii necovariante, sau se face presupunerea că omogeneitatea şi izotropia au fost date dintotdeauna. În acest caz este suficient să se demonstreze *stabilitatea* soluţiei alese, adică să se dovedească că orice perturbaţie tinde să se amortizeze. Deoarece, în plus, nu există nici un motiv precis să se presupună că Universul a trebuit să fie în trecut mai puţin omogen decît îl vedem noi astăzi, pînă la urmă Hoyle adoptă, în ultima sa lucrare[1] această a doua soluţie.

Acum putem preciza, fără a intra în detalii, principalele asemănări şi deosebiri dintre cele două tratări teoretice ale cosmologiei staţionare şi ale generării de materie, propuse de Hoyle la un interval de doisprezece ani. În ambele cazuri, scopul este acelaşi — prezentarea modelului staţionar al lui Bondi şi Gold ca soluţie a unor ecuaţii analoage celor ale lui Einstein, dar scrise într-un mod care să permită generarea de materie şi fără să se presupună deloc că densitatea materiei în spaţiu este nulă. La fel ca Bondi şi Gold, Hoyle nu admite că această cosmologie implică abandonarea necondiţionată a principiului conservării materiei-energiei. Într-adevăr, într-un Univers infinit, conservarea cantităţii totale de materie-energie nu are sens, deci trebuie să se definească natura domeniilor spaţio-temporale finite în care se postulează că materia-energia se conservă. Dacă acestea sînt însă definite în aşa fel încît volumul lor propriu să rămînă constant, principiul de conservare, departe de a contrazice generarea, o va implica; dacă ele sînt definite, ca în cosmologia relativistă, în aşa fel încît volumul lor propriu să se dilate cu timpul, generarea va fi exclusă de principiul conservării. În privinţa acestor puncte diferite, ideile lui Hoyle au rămas neschimbate.

Deosebirile se axează pe problema expresiei formale a acestor idei. Primul procedeu constă din a adăuga în ecuaţiile lui Einstein un nou tensor fără semnificaţie dinamică directă, care să exprime existenţa unei direcţii preferenţiale în spaţiu-timp. Cel de-al doilea procedeu constă din revenirea la ecuaţiile lui Einstein, introducînd însă în tensorul material care figurează în membrul al doilea un element derivat dintr-un nou cîmp fizic, cîmpul generării, definit cît mai simplu posibil şi într-un mod care să nu con-

[1] Formulele din acest memoriu se găsesc în Anexa, X, A.

trazică ipotezele de uniformitate făcute în privința „fluidului" cosmic, la fel ca în cosmologia relativistă obișnuită.

1. În prima versiune merită să fie subliniat în mod deosebit un aspect. Hoyle introduce un cîmp vectorial asociat direct unei familii de geodezice ale spațiu-timp-ului, care corespunde geodezicelor lui Weyl din cosmologia „ortodoxă". În fiecare punct vectorul cîmpului C_μ este tangent la unica geodezică a familiei care trece prin acel punct; în plus el este de lungime constantă. Aceasta este reprezentarea geometrică a timpului cosmic. Tensorul care rezultă din derivarea covariantă a acestui vector, $C_{\mu\nu}$, intră în ecuațiile lui Einstein în locul termenului cosmic obișnuit, $\Lambda g_{\mu\nu}$, care este suprimat. Deoarece divergența acestui nou tensor nu este nulă, nici aceea a tensorului material nu se poate anula și aceasta implică o generare de materie.

Acest mod de a proceda — evident contestabil din punct de vedere al relativității și destul de echivoc din punct de vedere teoretic (vectorul C_μ nu este legat de $g_{\mu\nu}$, deci la drept vorbind el nu este o entitate geometrică, dar nici o mărime fizică) — avea totuși, după cîte ni se pare, marele avantaj de a asocia într-un formalism simplu și direct direcția timpului cu un fenomen fizic ireversibil prin însăși natura sa, un proces genetic pur, în timp ce în deducția lui Bondi și Gold această legătură nu apărea decît indirect. Dată fiind semnificația sa ontologică, Hoyle era mulțumit să o vadă exprimată matematic cu atîta simplitate și claritate. Dimpotrivă, în cea de-a doua versiune a sa, legătura tinde să se estompeze, cu toate că rămîne subiacentă teoriei.

2. Această a doua versiune se bazează în esență pe definirea unui potențial scalar al generării. Cu ipoteza ulterioară că acest potențial este funcție numai de timp, Hoyle reintroduce timpul cosmic iar cu ajutorul derivatei secunde covariante a acestui scalar se formulează legea generării (se presupune numai că cîmpul generării este proporțional cu densitatea cosmologică în fiecare punct) și acest tensor este introdus în ecuațiile lui Einstein, însă cu mai multă modestie decît tensorul $C_{\mu\nu}$. Într-adevăr, el se contopește în tensorul material $T_{\mu\nu}$ alături de alte elemente — gravitațional, electromagnetic și nuclear.

Valabilitatea soluției staționare este asigurată de ipotezele obișnuite asupra „fluidului" cosmic. Lui Hoyle nu-i mai rămîne decît să demonstreze stabilitatea modelului în timp, ceea ce o face în mod riguros, și stabilitatea sa spațială, care este dată ca foarte probabilă, fără a fi totuși demonstrată cu adevărat. Nu este

exclus totuşi ca luarea în considerare a elementelor electromagnetice şi nucleare din tensorul material, în general neglijate în cosmologie, să provoace un defect de stabilitate şi, mai ales, o variaţie seculară lentă a constantei de recesiune. Am menţionat deja reflecţiile pluraliste pe care această eventualitate i le sugerează lui Hoyle.

Evoluţia netă a gîndirii cosmologice a eminentului astrofizician depăşeşte poate persoana sa. Ea ar putea să însemne o mişcare de repliere a ceea ce a reprezentat acum treizeci de ani cosmologia nouă, pe poziţii cît mai apropiate de cele ale relativităţii generalizate.

Capitolul VII

DIFERITE ALTE TEORII

A. Variațiuni pe tema marelui număr — Eddington, Dirac și Jordan

Examinarea sistematică a constantelor numerice ale fizicii, ale microfizicii şi ale astronomiei a apărut, într-un mod destul de neaşteptat, în ultimii patruzeci de ani, ca una din căile de acces posibile pentru cunoaşterea Universului. Aceasta este unul din progresele surprinzătoare care au apărut în cosmologia contemporană — surprinzătoare pentru că determinarea experimentală a unei constante numerice pare, în fizica pozitivă, mai curînd o operaţie finală în procesul de inserare a formelor fizico-matematice în experienţă decît punctul de plecare al speculaţiei teoretice. Pentru spirite formate în cadrul epistemologiei secolului al XIX-lea, atitudinea faţă de numere — considerarea lor pur şi simplu ca fapte date — ar fi putut fi luată chiar ca un bun criteriu pentru a face o distincţie între filozofia pozitivă şi filozofia preştiinţifică a naturii, avînd în vedere vechimea şi vanitatea speculaţiilor asupra numerelor, cărora li se atribuia pe nedrept o semnificaţie ontologică.

Dealtfel Eddington reînviase meditaţia asupra numerelor fizice tocmai în acel moment crucial al carierei sale în care el rupea în mod deliberat cu metodologia tradiţională a fizicii. Talentul lui Eddington era însă atît de mare, informaţia sa atît de vastă şi de sigură, ideile sale atît de bogate şi de promiţătoare încît este dificil să se traseze limita dincolo de care începe adevărata ruptură. În orice caz, contemporanii săi nu par să o fi văzut prea clar, remarcînd numai încetul cu încetul că erau antrenaţi acolo unde nu voiau să meargă şi că frontiera admisibilului era depăşită.

Nu avem intenţia să-l urmărim acum pe Eddington pînă la capăt în speculaţiile sale asupra numerelor, pentru că am încercat să facem acest lucru într-o altă lucrare. Vom relua aceste speculaţii din punctul în care alţi autori, care nu aparţineau direct anturajului lui Eddington, au considerat la rîndul lor că le pot

continua pe cont propriu, adică practic așa cum le găsim în *The Expanding Universe*[1], această mică capodoperă în care spiritul eddingtonian strălucește poate mai viu decît oriunde și în care, după ce expune cosmologia relativistă, așa cum o înțeleg Lemaître și el însuși, Eddington se desparte de ortodoxismul științific.

Mecanica cuantică a lui Dirac făcuse asupra lui Eddington o impresie profundă. În schimb, Dirac, deși după toate aparențele, sedus de ideile lui Eddington asupra constantelor numerice, a fost dezamăgit în cele din urmă de metodele și rezultatele înaintașului său. Aici se află originea propriei sale meditații cosmologice.

În sfîrșit, Pascal Jordan va încerca să insereze principiul lui Dirac — după care numerele foarte mari, care rezultă din combinațiile adimensionale între constantele fizice, variază cu timpul — într-o teorie a relativității lărgită. El a fost printre primii care s-au angajat pe un drum pe care Eddington nici nu-l luase măcar în considerare, pe care Dirac refuzase s-o apuce, făcînd ipoteza că într-un punct sau altul din spațiu pot să apară particule materiale *ex nihilo*.

Nici una dintre aceste trei încercări nu a ajuns de fapt la o soluționare convingătoare a problemei constantelor numerice, problemă pe care totuși timpul nu a distrus-o pur și simplu, așa cum se întîmplă, prin uzură și măcinare. Mulți cosmologi o consideră încă semnificativă, în măsura în care consideră că în spatele ei se ascunde întreaga problemă a relațiilor dintre microfizică și cosmologie, așa cum credea Eddington.

I. Eddington

În 1933, Eddington era deja convins de mult timp — dealtfel, această idee provenea de la Weyl — că constanta cosmologică are o semnificație metrică fundamentală. Deoarece, din punct de vedere al dimensiunilor fizice, aceasta este inversul pătratului unei lungimi, ea trebuia, în spiritul lui Eddington, să definească unitatea absolută de lungime. Pe de altă parte, acest postulat permitea să se determine soluția cosmologică a ecuațiilor cîmpului.

Într-adevăr, investită cu această semnificație metrică, Λ nu putea fi decît pozitivă ; pe de altă parte, ea trebuia să corespundă unei structuri cosmologice determinate — Universul static și închis al lui Einstein, *uranoidul*, cum va spune mai tîrziu Eddington.

---

[1] Cambridge, 1933.

Or, aşa cum am văzut, chiar Eddington demonstrase că modelul lui Einstein este de fapt o formă de echilibru instabil, care sub influenţa unei perturbaţii locale oarecare începe o contracţie sau o expansiune indefinită. Starea iniţială a Universului, depăşită deja în mod ireversibil, trebuie deci reprezentată în sensul expansiunii; aceasta este ceea ce se numeşte de obicei cosmologia lui Lemaître-Eddington. Universul a rămas un timp infinit de lung în vecinătatea stării statice a lui Einstein, de la care nu s-a abătut în mod sensibil decît pentru un interval de timp care este probabil de ordinul de mărime al inversului constantei lui Hubble.

Or, Eddington ştia foarte bine şi o spusese explicit că această imagine a istoriei cosmice este foarte puţin convingătoare. O stare de echilibru instabil care se menţine practic fără modificări (datorită caracterului logaritmic al legii) în cursul unui timp infinit, este un fapt care violează nu numai modul obişnuit de gîndire din fizică, ci şi „bunul simţ", pentru care ştiinţa modernă nu are nici un respect. Totuşi, în timp ce Lemaître îşi transforma complet teoria, Eddington nu se ostenea să caute o reprezentare mai puţin bizară a expansiunii cosmice. Motivul acestei indiferenţe neobişnuite ni se pare a fi următorul: în 1933, anul publicării cărţii *The Expanding Universe*, Eddington încetase de fapt să se mai intereseze de expansiune, de istoria cosmică, de tot ce este devenire în Univers. Dar renumele său era în întîrziere cu zece ani faţă de gîndirea sa, căci publicul mai vedea în el pe marele teoretician al expansiunii, iar memoriul său asupra instabilităţii Universului lui Einstein căpătase deja sensul ultimei lovituri în înlăturarea definitivă a imaginii milenare a cerului imuabil. Ceea ce îl fascinează în realitate acum este existenţa probabilă a unui complex de relaţii numerice care, nefiind afectate de expansiune, scapă procesului de devenire. Este suficient ca *uranoidul* lui Einstein să definească un sistem de referinţă fix; din punctul de vedere al problemei structurii, aşa cum o pune el acum, restul nu are nici o importanţă.

Această poziţie este dealtfel în perfectă concordanţă cu filozofia timpului pe care Eddington o propusese, cu mai mulţi ani în urmă, în *The Nature of the Physical World*[1]: temporalitatea şi devenirea fac parte din acele atribute ale existenţei despre care fizica nu poate şti nimic în mod direct, căci, prin însăşi natura sa, cercetarea fizică se întoarce întotdeauna la exigenţele metrice pe care ea le impune aprioric realităţii. Fizicii îi este interzis să atingă intimitatea lucrurilor, unul din aspectele căreia este exprimat chiar de devenire,

---

[1] Cambridge, 1929 (*Gifford Lectures*, 1927).

iar proprietățile metrice ale Universului, pe care le exprimă constantele fizice, sînt de fapt de origine epistemologică.

Punctul de plecare al raționamentului lui Eddington este existența presupusă a *două* relații numerice independente între raza de curbură spațială a Universului lui Einstein, R, și numărul N de protoni din lume, număr foarte mare, dar finit dacă Universul este spațial închis. Una din aceste relații este cosmologică și rezultă direct prin aplicarea ecuațiilor cîmpului la Universul lui Einstein, pentru că N este evident legat de masa totală a Universului care induce cîmpul gravitațional[1]. Cea de-a doua relație este microfizică, nouă, ipotetică și specific eddingtoniană. Pentru stabilirea ei, Eddington raționează — pe scurt — astfel : unitatea microfizică de lungime $\frac{e^2}{mc^2}$, cu valoarea în jur de 10^{-13} cm, trebuie să fie legată printr-o relație simplă de R și de N dacă R este o măsură absolută de lungime, pentru că trebuie să existe o anumită legătură între însumarea lungimilor elementare și etalonul cosmic. Or, nu se pot însuma decît anumite feluri de mărimi și, în microfizică, singurele mărimi aditive sînt, din punct de vedere al dimensiunilor fizice, omogene în $\frac{1}{R^2}$; combinația căutată este deci $\frac{N}{R^2}$, iar unitatea microfizică de lungime trebuie identificată cu $\frac{R}{\sqrt{N}}$. Existența acestor două relații permite calcularea separată a lui R și N. Cu ajutorul geometriei Universului, valoarea găsită pentru R poate fi confruntată cu valoarea empirică a constantei lui Hubble; cît despre N, acest număr este de ordinul 10^{79}. În acest fel, din calculul lui Eddington apare un număr foarte mare, care va rămîne în centrul tuturor cercetărilor asupra numerelor cosmice, pentru că se întîmplă ca acest număr foarte mare să fie de ordinul de mărime al pătratului numărului care măsoară raportul dintre interacția electrică și interacția gravitațională dintre proton și electron.

Din acest punct încep să se ridice construcțiile cu adevărat și în exclusivitate eddingtoniene care se vor încheia, zece ani mai tîrziu, în *Fundamental Theory* prin deducerea a douăzeci și șapte

---

[1] Anexa, V, ec. 57 și IV, ec. 53. Punînd $p = 0$, $R = R_e =$ const în V, ec. 57 și introducînd în IV, ec. 53, se obține $\frac{N}{R_e}$ în funcție de masa particulei elementare și de constantele cunoscute.

de constante fizice pornind de la trei dintre ele şi prin deducerea în întregime apriorică a numărului mare N, evaluat la 2^{256}. Dar încă din 1933 Eddington identifica inversul constantei structurii fine, $\frac{hc}{2\pi e^2}$ cu numărul întreg 137 şi, cu ajutorul acestui număr ajustat la 136 prin raţionamente subtile, calcula în bun acord cu experienţa, raportul dintre masa protonului şi aceea a electronului.

II. Dirac

Atunci cînd a luat şi el cuvîntul în dezbaterea cosmologică, în 1937 [1], la un an după publicarea teoriei lui Eddington în prima versiune [2], Dirac era încă sub impresia acesteia şi, cu toate îndoielile în ceea ce priveşte valoarea metodei, el dorea cel puţin să rămînă credincios spiritului eddingtonian, aşa cum şi Eddington, cu cîţiva ani mai înainte, dorise să urmeze calea deschisă de Dirac în fizica cuantică.

Acum, după douăzeci şi cinci de ani, dată fiind scăderea entuziasmului fizicienilor faţă de metodele lui Eddington, cititorul este mai curînd surprins de creditul acordat de Dirac acestor metode atunci cînd scrie: „Argumentele lui Eddington nu sînt întotdeauna riguroase, dar ele dau impresia că sînt probabil exacte în conţinut, în cazul numerelor mici". Dirac nu a fost mai puţin dezamăgit decît au fost în general cititorii cărţii *Relativity Theory of Protons and Electrons*, chiar şi aceia sau, poate, mai ales aceia, care erau înclinaţi să acorde încredere intuiţiei şi talentului lui Eddington [3].

Într-adevăr, Dirac consideră că Eddington nu a rezolvat problema numerelor fizice foarte mari, în sensul că el nu a ajuns la stabilirea faptului că ele ar avea o semnificaţie structurală, că proporţia numerică dintre macrocosmos şi microcosmosul atomic rezultă din structura lor logico-matematică. Or, Dirac avea motive speciale să se intereseze de această problemă: căutarea unei ecuaţii a undelor liniară şi relativistă îl condusese, prin simpla dezvoltare a formalismului, la a identifica în mod ipotetic o „particulă încărcată" cu o „stare de energie" a întregului Univers. Aceasta con-

[1] P. A. M. DIRAC, *The Cosmological Constants*, Nature, 139, 1937, p. 223, vezi Anexa, X, B.

[2] *Relativity Theory of Protons and Electrons*, Cambridge, 1936.

[3] De exemplu Schrödinger, la sfîrşitul unei recenzii pline de înţelegere a cărţii *Relativity Theory . . .*, ajunge la concluzia că este vorba de un proiect de dimensiuni neobişnuite, în care „numai detaliile necesită dezvoltări şi poate modificări importante" (Nature, 140, 1937, p. 742).



ducea de la sine la ideea că „numărul de particule", dacă expresia are vreun sens, poate să corespundă unei proprietăți structurale a Universului.

Eddington nu a reușit totuși să pună în evidență această proprietate și, așa cum rezultă implicit din discuția lui Dirac, nici nu ar fi putut să o facă : „Aceste numere sînt atît de mari încît ne fac să ne gîndim că ar fi nevoie de o explicație cu totul diferită." Nu numai „diferită", ci de fapt aproape „contrară". Căci Dirac face mai mult decît să renunțe la principiile eddingtoniene, el le răstoarnă. Eddington credea că numerele mari au o semnificație structurală independentă de expansiune și de epoca cosmică. Dirac afirmă, dimpotrivă, că deoarece este imposibil să fie deduse, ele sînt contingente și în consecință relative față de momentul din istoria universală în care le măsurăm. Eșecul lui Eddington aruncă numerele mari din sfera logică în cea a istoriei. Transformînd atunci o necesitate în virtute, Dirac schițează ceea ce va deveni principiul fundamental al cosmologiei sale : în timp ce constantele numerice „mici" — cele apropiate de unu și mergînd pînă la puteri mici ale lui zece — trebuie să fie considerate constante veritabile, numerele foarte mari, avînd toate valori de ordinul 10^{39} sau al pătratului acestui număr, trebuie să fie considerate proporționale cu vîrsta Universului sau cu pătratul ei, cu coeficienți de proporționalitate apropiați de unitate.

Trebuie oare să vedem, ca Bondi, o „soluție disperată"[1] în această inversiune a perspectivei eddingtoniene, în acest mod de a recurge la istorie ca la *ultima ratio*? Desigur Bondi nu este un judecător imparțial căci nu poate datorită „principiului cosmologic perfect", să privească decît cu neîncredere o teorie care se sprijină pe „vîrsta" Universului. Dar este adevărat că există ceva bizar în raționamentul scurt al lui Dirac : Eddington nu a explicat numerele mari, deci ele sînt logic inexplicabile, deci ele indică epoca cosmică.

Oricum ar fi, în expunerea mai completă și sistematică pe care Dirac o face în 1938[2] în legătură cu ideile sale cosmologice, el nu se referă mai explicit la Eddington și încearcă mai curînd să-și definească poziția în raport cu cea a lui Milne, spre care trebuia să-l conducă în mod natural alegerea unei perspective istorice asupra Universului. El se apropie de acesta relevînd mai întîi contrastul — devenit evident la acea dată— dintre principiul de co-

---

[1] *Cosmology, op. cit.*, p. 160.

[2] *A New Basis for Cosmology*, Proc. Roy. Soc. London, 165 A, 1938, pp. 199 — 208.

varianță, care este unul din principiile de bază ale teoriei relativității și decalajul spectral al galaxiilor, care indică clar existența unei direcții privilegiate în spațiu-timp. El vede în aceasta un motiv de a considera, ca și Milne, că teoria relativității nu poate juca în cosmologie decît un rol subsidiar și că principiul cosmologic este o ipoteză rezonabilă.

Dar Dirac se desparte de Milne și rămîne credincios lui Eddington prin aceea că nu acceptă „ipoteza dimensională”, în virtutea căreia în legile naturii nu ar trebui să figureze decît constanta fără dimensiuni fizice. Într-adevăr, după Dirac nu există nici un motiv ca constantele atomice să nu apară în cosmologie; mai mult, ne-am aștepta chiar ca o cunoaștere mai profundă a lumii fizice să pună în evidență o legătură mai strînsă între atom și Univers. Aceasta este dealtfel singura urmă indiscutabilă a originilor eddingtoniene ale cosmologiei lui Dirac.

„Ipotezei dimensionale” a lui Milne și Walker, pe care nu o acceptă, Dirac îi va substitui deci un „principiu fundamental” care combină postulatul milnean după care există o istorie a Universului reperabil pornind de la un zero natural al timpului, cu postulatul unei apariții a constantelor atomice la scara măsurătorilor cosmologice. Dacă, cu ajutorul acestor constante, la care se adaugă 2π și c, viteza luminii în vid, se construiește în toate modurile posibile un interval elementar de timp, aceste unități se găsesc între ele în rapoarte care nu depășesc puteri mici ale lui zece; dintre aceste intervale elementare se alege unul care ocupă o poziție medie, $\frac{e^2}{mc^3}$, care este considerat ca unitate naturală de timp. Cu această unitate, inversul constantei lui Hubble, T, este măsurat printr-un număr de ordinul 10^{39}, adică de ordinul raportului dintre interacțiunile electrică și gravitațională dintre proton și electron, γ[1].

Dacă se presupune că această coincidență nu este pur întîmplătoare sau, mai mult, că *numărul mic*, apropiat de unitate, care rezultă din împărțirea a două *numere mari*, are o semnificație structurală, atunci el trebuie să fie constant și raportul γ trebuie să fie proporțional cu T. Or, în cosmologie se întîlnesc și alte numere

[1] Anexa, p. 486. Revizuirile valorii constantei lui Hubble intervenite mai tîrziu nu au consecințe asupra raționamentului lui Dirac, care nu se referă decît la ordine de mărime. Dirac dă pentru T, „vîrsta Universului” în unități atomice, valoarea $7 \cdot 10^{38}$; cu valoarea din 1960 a constantei lui Hubbe se obține $5 \cdot 10^{39}$. Metodologia lui Dirac este în această privință cu totul opusă celei a lui Eddington, care căuta să obțină prin calcul o precizie egală cu precizia experimentală.

foarte mari fără dimensiuni fizice, de ordinul 10^{39} sau al pătratului lui. De aici derivă „principiul fundamental'':

„Două numere foarte mari, oarecare și adimensionale, care se întîlnesc în natură sînt legate printr-o relație matematică simplă, în care coeficienții sînt de ordinul de mărime al unității''. Cum anumite numere mari sînt în legătură directă cu epoca cosmică, rezultă că toate trebuie să fie astfel, pentru ca relațiile lor să se conserve. Se poate ca acest principiu fundamental să nu fie riguros aplicabil. Dirac admite că proporționalitatea dintre numerele mari poate să se modifice cu timpul, după o lege logaritmică, adică foarte lent, din momentul în care epoca devine foarte mare.

Cu toate că Bondi consideră că principiul lui Dirac nu indică la fel de clar ca „principiul cosmologic perfect'' o direcție pentru cosmologie, sîntem dimpotrivă surprinși de numărul și de importanța consecințelor pe care ajunge să le tragă Dirac. Introducînd în raționamentele sale un alt număr mare, care are și ordinul de mărime convenabil — densitatea medie de materie-energie din spațiu (sau, mai curînd, inversul ei), măsurată în unități atomice — Dirac deduce din principiul fundamental funcția de timp cosmic care definește recesiunea galaxiilor.

Din principiul fundamental rezultă de asemenea, prin reducere la absurd, că spațiul este infinit și euclidian (inversarea valorilor eddingtoniene este deosebit de netă aici). Într-adevăr, dacă curbura spațiului ar fi pozitivă, masa totală a Universului ar fi finită; măsurată în unități atomice, ea ar fi evident exprimată printr-un număr foarte mare care, conform principiului fundamental, ar trebui să varieze cu timpul, în contradicție cu principiul conservării. (Din contra, Eddington spune, aproximativ: dacă Universul ar fi infinit, masa sa nu ar fi măsurabilă cu ajutorul unui număr finit și ar dispărea orice relație definită între măsura atomului și cea a Cosmosului, ceea ce nu se poate concepe, căci Universul trebuie, în măsura în care formează obiectul cunoașterii fizice, să fie conform normelor metrice impuse aprioric de fizică). Spațiul nu poate fi nici de curbură negativă; aceasta rezultă de asemenea din principiul fundamental, printr-un raționament analog celui precedent, deși ceva mai complicat. Singura soluție posibilă este deci aceea ca spațiul să fie euclidian.

Dirac obține astfel o soluție complet determinată a problemei cosmologice adăugînd principiul său fundamental unor ipoteze obișnuite — principiului cosmologic — și fără a face apel la vreo teorie fizică.

Dar, spre deosebire de Milne, el caută să stabilească un contact cu relativitatea generalizată. Făcînd o discuție schematică asupra

mişcării particulei libere în structura cosmică pe care tocmai o definise, el constată, ca şi Robertson şi contrar lui Milne, că, în afara cazului particular în care viteza particulei este identică cu viteza ,,naturală'' a materiei în punctul considerat, vectorul său accelerație este aprioric o funcţie complet nedeterminată de viteză şi de timpul cosmic. Aceasta îl face să recurgă la relativitatea generalizată, al cărei succes ,,local'' sugerează că ar fi valabilă şi la scară cosmică.

Dar ecuaţiile acesteia nu mai pot fi aplicate dacă se folosesc unităţile atomice ale lui Dirac. Într-adevăr, în aceste unităţi, principiul fundamental implică faptul că constanta gravitaţiei variază invers proporţional cu timpul — consecinţă inadmisibilă în relativitatea generalizată — pentru că raportul dintre interacţiunea electrică şi interacţiunea gravitaţională este un număr foarte mare care trebuie să varieze direct proporţional cu timpul. Masa şi sarcina fiind mărimi care se conservă, rezultă că ,,constanta'' gravitaţională trebuie să fie variabilă. Pentru a aplica ecuaţiile lui Einstein, acestea trebuie scrise într-un sistem de unităţi în care constanta gravitaţiei este constantă. Deoarece masa se conservă în cele două sisteme de unităţi şi viteza luminii este menţinută egală cu 1, timpul ,,relativist'' trebuie să fie proporţional cu pătratul timpului ,,atomic''.

Dirac regăseşte deci în aparenţă, pe o cale cu totul diferită (de fapt însă într-un sistem de gîndire analog), dubla scară a timpului a lui Milne. Trebuie însă să atragem atenţia că efectele fizice observabile rezultate din această dualitate sînt inverse în cele două cosmologii. În timpul natural al lui Milne (scara t), ,,constanta'' gravitaţiei este *crescătoare* cu epoca ; ea este dimpotrivă *descrescătoare* în timpul natural al lui Dirac. Deoarece în ambele teorii timpul mecanicii diferă de timpul natural, prima teorie face să se prevadă o accentuare a efectelor gravitaţiei, iar cealaltă o diminuare a acestor efecte în cursul istoriei cosmice.

Acest caracter invers al consecinţelor în cele două cosmologii de inspiraţie ,,istorică'' nu trebuie desigur să ne surprindă prea mult, dat fiind faptul că în privinţa unor puncte importante postulatele lor sînt opuse. Acesta este totuşi un argument destul de puternic în sprijinul tezei lui Bondi şi a partizanilor Universului staţionar, după care orice concesie făcută istoriei poate să producă în cosmologie efecte imprevizibile şi incoerente asupra sistemului de concepte. În orice caz, cu ajutorul unei schimbări de unităţi convenabile, modelul de univers al lui Dirac se transformă într-un model relativist care nu este altul decît modelul Einstein-de Sitter.

În forma în care se află — pentru că celebrul fizician nu i-a dat niciodată o dezvoltare mai amplă — strălucitoarea încercare a lui Dirac prezintă defecte evidente : din punct de vedere cosmologic, ea nu evită problema singularității inițiale și a duratei scurte a istoriei cosmice, dificultăți la care sînt expuse în special modelele în care expansiunea se încetinește cu timpul — printre acestea aflîndu-se și modelul Einstein-de Sitter. În această privință, teoria lui Dirac nu prezintă nici un avantaj față de cosmologia relativistă. Pe de altă parte, din punct de vedere epistemologic, Bondi nu greșește atunci cînd spune că încercarea de joncțiune cu teoria relativității nu este prea convingătoare. Unul din motivele cercetărilor lui Jordan a fost acela de a da o bază teoretică mai solidă ideilor lui Dirac. Se pare că același lucru și-l propun și unii dintre fizicienii contemporani care vor să le exploreze consecințele astrofizice.

Dacă dorim să situăm exact încercarea lui Dirac în seria cercetărilor asupra constantelor și, mai general, în mișcarea cosmologică, trebuie să mai zăbovim asupra unui punct important. La Eddington marele număr era prin excelență legat de numărul particulelor elementare din Univers. La prima vedere, aplicarea principiului lui Dirac trebuie să conducă la considerarea acestui număr ca o funcție crescătoare de timpul cosmic (variind ca t^2). Dealtfel aceasta era, pe cît se pare, una din primele presupuneri care i-au venit în minte lui Dirac, din momentul în care a căpătat certitudinea că Eddington intrase într-un impas din care nu mai putea ieși. În nota din revista Nature din 1937, tocmai aceasta era prima consecință pe care o trăgea din principiul său, păstrînd implicit ipoteza finitistă a lui Eddington și renunțînd în același timp la principiul de conservare al materiei-energiei. Mai tîrziu, așa cum am văzut, el va reveni la acest principiu și va abandona finitismul, retrăgînd marelui număr semnificația fizică pe care i-o dădea Eddington.

Motivele care îl fac pe Dirac să prefere pînă la urmă teza clasică a conservării merită să fie menționate. De fapt, el nu invocă în favoarea principiului conservării nici o experiență și nici un fapt evident, constatînd că rata de creștere a numărului de particule din Univers ar putea fi destul de mare pentru a produce efecte cosmologice importante, rămînînd totuși prea mică pentru a fi observabilă local. Justificarea principiului clasic este deci pur epistemologică : un proces de generare *ex nihilo* ar fi atît de dificil de pus în acord cu ideile de bază ale fizicii teoretice, încît este mai bine să nu fie luat în considerare atît timp cît nu există nici un motiv întemeiat pentru a o face. În acest scurt impuls spre pro-

iectul unei fizici a generării continue, Dirac este deci reţinut nu de sentimentul unei contradicţii evidente, ci de acela al unei intervenţii imprudente şi stîngace. El pare să se teamă mai curînd de „gafă'' decît de nebunie. Dealtfel, aşa cum am notat într-o altă lucrare pentru a scoate mai bine în evidenţă anumite trăsături ale teoriei eddingtoniene, Dirac, beneficia de un temperament fericit, caracterizat în acelaşi timp de îndrăzneală creatoare şi de rezervă în gîndire.

Tentaţia exista totuşi, iar ezitarea lui Dirac trebuie menţionată, împreună cu anumite idei ale lui Jeans care circulau insistent la vremea aceea, printre numeroasele semne care anunţau, în deceniul al patrulea, schimbarea concepţiilor în legătură cu conservarea entităţilor fizice, schimbare care este, cel puţin în parte, rezultatul descoperirii unei adevărate dimensiuni temporale în Univers.

III. Pascal Jordan [1]

Jordan se încumetă să facă acest pas şi devine astfel primul fizician care propune o teorie cosmologică în care formarea materiei *ex nihilo* devine un fenomen fizic în sensul obişnuit al termenului. Teorie oarecum deconcertantă, la drept vorbind, şi care justifică retrospectiv prudenţa lui Dirac, căruia Jordan voia să-i exploateze, să-i extindă şi să-i consolideze concepţiile cosmologice. Deşi el a şi reuşit într-o anumită măsură, concepţiile sale sînt mai puţin coerente, chiar nesigure în privinţa aptitudinii lor de a duce la înţelegerea datelor de observaţie, de a oferi o imagine netă şi convingătoare despre Univers. Valoarea lor intrinsecă este deci discutabilă, însă interesul lor istoric şi epistemologic nu poate fi pus la îndoială : Jordan a fost primul care a înfruntat deschis dificultăţile pe care pe drept cuvînt Dirac le bănuia enorme — dificultăţile pe care le întîlneşte fizicianul atunci cînd postulează că în Univers cantitatea de masă-energie este variabilă ; aceleaşi cu care vor fi confruntaţi, puţin mai tîrziu, Bondi, Gold şi Hoyle.

În ceea ce priveşte problema cosmologică în sensul strict al cuvîntului, poziţia lui Jordan este destul de originală, însă incomodă. După el, structura metrică a Universului se defineşte cu ajutorul unei soluţii a ecuaţiilor cîmpului gravitaţional, dar aceste ecuaţii sînt diferite de cele ale lui Einstein. Ele sînt ecuaţiile unei teorii mai complexe, astfel aleasă încît să permită exprimarea

---

[1] Anexa, X, C.

matematică directă a principiului lui Dirac. Teoria lui se baza deci pe considerente cosmologice, deşi fusese inventată din cu totul alte motive. Faptul acesta alterează profund economia logică a cosmologiei lui Jordan : ea derivă din mai multe surse, ale căror aporturi sînt mai curînd juxtapuse decît unificate.

Pe de o parte, Jordan se consideră ca succesor al lui Eddington şi al lui Dirac, ca depozitar al ,,ideii lui Dirac'' (*diracsche Gedanke*), cum spune el, dedicat exploatării unei comori prea repede abandonată de descoperitorul ei. Pe de altă parte, el reia pe cont propriu o teorie fizico-matematică elaborată de către relativişti în căutarea unei teorii unitare a cîmpurilor fizice, urmărind să găsească un formalism mai bine adaptat decît cel al relativităţii generalizate pentru exprimarea principiului lui Dirac. În sfîrşit, întorcîndu-se spre astronomie şi geofizică, Jordan caută pe Pămînt şi în aştri semnele unui proces de generare şi de dispersare a materiei care să corespundă vederilor sale teoretice. Ceea ce rezultă pînă la urmă dă oarecum impresia unui *potpuriu*.

1. Exploatarea ideii lui Dirac (*diracsche Gedanke*).

Pentru Jordan, meritul lui Eddington constă mai ales în a fi remarcat problema numerelor mari şi în a o fi scos în evidenţă atît de clar încît nu mai poate fi uitată. În ceea ce priveşte rezolvarea ei, Eddington nu a găsit-o, iar metodele sale nu o pot furniza [1]. Numai principiul lui Dirac o poate da. Pînă aici, acordul dintre Jordan şi Dirac este perfect, aşa cum este şi asupra uneia din consecinţele importante ale principiului : aceea că ,,constanta'' gravitaţiei este în realitate variabilă, proporţională cu inversul epocii cosmice.

Dar Jordan încearcă să întărească justificarea principiului lui Dirac. Dacă numerele adimensionale şi efectiv constante trebuie să difere puţin de unitate, acesta este în primul rînd un fapt matematic : toate teoriile matematice simple pun în evidenţă numere ca $\sqrt{2}$, care măsoară diagonala pătratului de latură 1, 4π, aria sferei de rază 1, $2\pi^2$, volumul spaţiului riemannian de rază 1, primul zero al unei funcţii Bessel etc., numere care diferă puţin de unitate. Aceasta face ca numerele foarte mari să apară ca nişte entităţi care, chiar din punct de vedere matematic, sînt complexe şi greu de interpretat. La aceasta se adaugă, natural, constatarea că combinaţiile adimensionale ale numerelor din fizică sînt în general de ordinul unităţii [2].

---

[1] *Schwerkraft und Weltall*, Brunswick, 1952, p. 135.

[2] *Formation of the Stars and Development of the Universe*, Nature, 164, 1949, pp. 631—640.

Jordan încearcă pe de altă parte să lărgească baza empirică a raţionamentului lui Dirac şi opune în mod deliberat metoda inductivă a cosmologiei sale aspectului deductiv al altor teorii [1]. În acest fel defineşte el „vîrsta'' Universului, mai empiric decît Dirac, ca durata maximă a proceselor cosmice cunoscute şi măsurabile în mod raţional, ceea ce dă un rezultat efectiv comparabil cu inversul constantei lui Hubble (cîteva miliarde de ani). El încearcă chiar, cu mai puţin succes însă, să privească raza Universului (pe care îl presupune închis) ca pe o mărime măsurabilă empiric. Jordan revine astfel la finitismul lui Eddington, acceptînd, spre deosebire de Dirac, că masa finită a Universului creşte odată cu timpul.

Finitismul lui Jordan nu are dealtfel o justificare cu mult mai solidă decît cel al lui Eddington sau al lui Lemaître. În teoria matematică pe care el o substituie pînă la urmă relativităţii generalizate, ecuaţiile cîmpului admit de asemenea soluţii cosmologice în care spaţiul are o curbură pozitivă, negativă sau nulă şi Jordan trebuie să recunoască pînă la urmă că „tendinţa autorului de a nu lua în serios din punct de vedere fizic decît cazul $\varepsilon = 1$ — care corespunde spaţiului închis — trebuie considerată poate ca insuficient fundamentată [2]''.

Într-adevăr, nici unul din cele două argumente folosite pînă acum pentru justificarea finitismului nu este deosebit de convingător : el prezentase ipoteza Universului finit ca singura ipoteză capabilă să rezolve paradoxul lui Olbers [3]. Dar, aşa cum notează Bondi [4], curbura spaţiului nu schimbă cu nimic paradoxul lui Olbers : dacă este adevărat că, spaţiul fiind închis, nu mai există decît un număr finit de surse luminoase în Univers, este de asemenea adevărat că în absenţa expansiunii (care rezolvă paradoxul în toate cazurile), închiderea spaţiului anulează efectul de împrăştiere a radiaţiei, căci cercurile mari pot fi parcurse indefinit de către aceiaşi fotoni.

Jordan credea, pe de altă parte — şi nu era el singurul — că numărarea galaxiilor îndepărtate, făcută de către Hubble, aducea nu numai dovada închiderii spaţiului, ci şi măsura razei sale de curbură, în epoca actuală. Dar este general admis că, date fiind enormele dificultăţi practice şi teoretice pe care le ridică numărarea galaxiilor, concluziile lui Hubble erau foarte premature.

---

1 *Die Herkunft der Sterne*, Stuttgart, 1947, p. 9.
2 *Schwerkraft und Weltall*, *op. cit.*, p. 104.
3 *Die Herkunft der Sterne*, *op. cit.*, p. 14.
4 *Cosmology*, *op. cit.*, p. 22.

2. Generarea de materie nouă.

Punctul în care, în numele lui Dirac, Jordan se îndepărtează cel mai mult tocmai de Dirac, este, aşa cum am spus, variaţia masei cosmice cu timpul, consecinţă inevitabilă — în acest sistem de concepte — a finitismului. Jordan mai dă încă acestei aserţiuni revoluţionare o interpretare relativ clasică, pentru că se străduieşte să o împace cu principiul conservării energiei. Într-adevăr, una dintre relaţiile dintre numerele mari se poate scrie în aşa fel încît să pună în evidenţă egalitatea dintre energia de repaus a masei cosmice şi energia potenţială totală a cîmpului gravitaţional pe care această masă îl induce asupra ei înseşi. Cum energia gravitaţională trebuie considerată cu semn negativ, aceasta sugerează că energia totală a Universului este nulă şi că apariţia materiei „proaspete" se face în condiţii care nu alterează această proprietate.

Este tocmai ceea ce se produce, după Jordan, în fenomenul de *supernova*, binecunoscut astronomilor. Această apariţie bruscă pe cer a unei stele extraordinar de strălucitoare, care se stinge apoi progresiv, este atribuită în general, ca şi apariţia mai frecventă şi mai puţin spectaculoasă a novelor, exploziei unei stele preexistente, explozie a cărei origine este căutată de astrofizicieni într-un avatar determinat de suita de procese nucleare care marchează „viaţa" anumitor stele. Pentru Jordan, dimpotrivă, cel puţin unele supernove au o cu totul altă cauză; ele ar rezulta din injectarea în Universul observaţiei a unor „picături de materie" extrem de condensate şi aflate în expansiune. Între energia potenţială gravitaţională a „picăturii", masa sa (de ordinul de mărime al maselor stelare) şi energia cinetică pe care ea o dobîndeşte în procesul de dispersare parţială ar exista astfel de relaţii încît bilanţul energetic ar fi constant nul, în aşa fel încît generarea „picăturii" nu ar avea nici o influenţă asupra energiei totale a Universului, care rămîne întotdeauna nulă.

Vom da ceva mai departe cîteva indicaţii asupra motivaţiei geometrice a acestei presupuneri cosmogonice.

3. „Relativitatea proiectivă".

Jordan a fost preocupat mai serios decît Dirac să dea principiului variaţiei numerelor mari cu timpul cosmic o expresie teoretică riguroasă. Problema constă în a şti cum şi cu preţul cărei modificări a teoriei relativităţii, coeficientul care figurează în partea dreaptă a ecuaţiilor lui Einstein poate fi tratat ca o constantă, ca un scalar legat de cîmp. Jordan consideră că rezolvarea se află în teoria „relativităţii proiective", elaborată în 1921 şi dezvoltată de atunci încoace de diverşi autori, mai ales

în Franța, de Lichnérowicz și Thiry [1]. Pînă la Jordan, această teorie rămăsese cu totul străină de cosmologie. Ea avea scopul de a exprima într-un limbaj matematic mai satisfăcător și mai bine unificat conținutul fizic al ecuațiilor lui Maxwell și al ecuațiilor lui Einstein și se situează deci în ansamblul cercetărilor care urmăresc crearea unei teorii unitare a cîmpurilor fizice.

Așa cum îl expune Jordan, principiul constă în înlocuirea celor patru coordonate obișnuite ale spațiu-timp-ului cu cinci coordonate omogene. Scrise în aceste coordonate, ecuațiile lui Maxwell și ecuațiile lui Einstein nu mai sînt covariante decît față de un anumit tip de transformări. Aceste transformări formează însă un grup care exprimă în mod unic invarianța relativității generalizate și pe cea proprie ecuațiilor lui Maxwell [2].

Iată cum și în ce scop se servește Jordan de teorie ca mijloc de exprimare a ideilor sale cosmologice: în locul celor patrusprezece variabile ale cîmpului (cele zece componente $g_{\mu\nu}$ din relativitatea generalizată și cele patru componente Φ_λ din ecuațiile lui Maxwell), relativitatea proiectivă introduce cincisprezece variabile. Cum, inițial, această teorie nu fusese elaborată pentru a adăuga ceva nou conținutului fizic al teoriilor precedente, numărul variabilelor trebuie să fie restrîns printr-o condiție suplimentară, matematic arbitrară, care constă în a da unui invariant fundamental o valoare numerică constantă. Acesta este prilejul extinderii pe care o căuta Jordan. În loc să fixeze cea de-a cincisprezecea variabilă, el identifică invariantul fundamental cu „constanta" gravitației, care devine astfel o funcție de coordonate [3]. Jordan își atinge astfel scopul — acela de a înlocui ecuațiile lui Einstein prin niște ecuații mai generale, în care $\varkappa$ figurează ca o variabilă [4].

În Germania, mai mulți autori au încercat să dea acestei teorii a lui Jordan o dezvoltare oarecum paralelă cu cea a relativității generalizate. Heckmann a construit o soluție a ecuațiilor lui Jordan analoagă soluției lui Schwarzschild a ecuațiilor lui Einstein. Ludwing și Müller au definit soluții cosmologice prin aplicarea acelorași condiții restrictive de izotropie și de omogenei-

---

[1] Lichnérowicz consideră improprie denumirea de „relativitate proiectivă". Ea ar corespunde într-adevăr metodei de prezentare a lui Jordan, în locul căreia Lichnérowicz, ca și Thiry, preferă folosirea unei varietăți riemanniene pentadimensionale (*Théories relativistes de la gravitation et de l'électromagnétisme*, Masson, Paris, 1955, pp. 151—214); cum scopul nostru este să prezentăm ideile cosmologice ale lui Jordan, îi vom păstra limbajul.

[2] *Schwerkraft und Weltall*, *op. cit.*, §§ 22—24, pp. 110—127.

[3] *Schwerkraft und Weltall*, *op. cit.*, § 26, pp. 127—133.

[4] *Ibid.*, § 28, pp. 137—145.

tate ca în cosmologia relativistă, dînd astfel, după dorința lui Jordan, o expresie matematică riguroasă „ideii lui Dirac"[1].

Din păcate, cu toate că aceste deduceri sînt complicate, avantajul pe care îl prezintă rezultatele lor asupra acelora ale cosmologiei relativiste nu reiese în mod evident, alegerea unui model cosmologic nu este mai bine determinată și se regăsesc toate dificultățile legate de singularitatea inițială. În ceea ce privește exprimarea matematică a ipotezei generării „picăturilor" de materie ici și colo în cosmos, ea nu este deosebit de simplă. Să ne mulțumim în această privință cu o imagine destul de curioasă de care se servește Jordan și care îi este inspirată de forma teoriei sale : faptul că se servește de cinci coordonate omogene sugerează, prin analogie cu geometria obișnuită, că Universul cvadridimensional este un fel de con scufundat într-un spațiu cu cinci dimensiuni vîrful său ar corespunde stării punctuale și singulare a Universului la timpul $t = 0$; dar nu ar fi imposibil să existe și alte vîrfuri subsidiare, de unde ar porni alte suprafețe conice, care ar ajunge să întîlnească suprafața conică principală, injectînd în spațiu-timp o materie proaspătă și explozivă, cea a supernovelor[2].

În sfîrșit, nu se poate spune că Jordan ar fi rezolvat problema pusă de Eddington. El nu aduce nici o dovadă cu privire la valabilitatea principiului lui Dirac, iar argumentele pe care le invocă în favoarea variabilității lui $\varkappa$ sînt prea indirecte pentru a putea fi luate în mod serios în considerație, mai ales că descreșterea ipotetică a lui $\varkappa$ trebuie să fie, în perioade relativ recente, destul de mică pentru a nu antrena consecințe incompatibile cu ceea ce se poate presupune în mod rațional în legătură cu trecutul Pămîntului[3].

Totuși, cum am spus mai sus, enigma numerelor mari este privită în continuare ca atare de către cosmologi care, în majoritate, fac cel puțin aluzie la ea atunci cînd întîlnesc în raționamentele lor una sau alta din relațiile puse în evidență de Eddington, Dirac sau Jordan. Mulți sînt convinși că aceste relații exprimă o corespondență ascunsă între legile microfizicii și cele ale cosmo-

---

[1] *Ibid.*, § 30, pp. 158–164.

[2] *Formation of Stars . . .*, *artic. cit.*

[3] După Jordan, variația lui $\varkappa$ ar explica faptul că : *a.* stelele duble, a căror formare este, după el, consecința instabilității rotaționale a stelelor, s-au putut îndepărta încetul cu încetul pînă la distanțele interne mari măsurate (în conformitate cu perioadele de rotație) ; *b.* ar face mai probabilă teoria lui von Weizsäcker cu privire la formarea planetelor ; *c.* ar furniza o explicație plauzibilă a separării maselor continentale pe suprafața Pămîntului (printr-un efect de decompresiune și de dilatare a Pămîntului după solidificarea scoarței). *Schwerkraft und Weltall*, *op. cit.*, § 33, pp. 191–201.

logiei, iar spiritul eddingtonian continuă să anime anumite cercetări în acest sens [1].

În ceea ce privește posibilitatea folosirii unui formalism mai complex decît cel al relativității generalizate pentru a insera istoria cosmică și, mai ales, generarea de materie nouă, într-un hiperspațiu cu cinci dimensiuni, aceasta a fost avută în vedere și de alți autori și în această privință lui Jordan nu îi lipsesc concurenții [2].

B. Abandonarea principiului cosmologic și a timpului cosmic. Universuri relativiste „în rotație", anizotrope sau neomogene

Punînd în 1917 problema cosmologică, Einstein introdusese dintr-o dată dubla ipoteză că distribuția materiei în spațiu este omogenă și că, în orice punct, Universul prezintă înfățișări izotrope pentru orice observator în repaus față de *substratum*-ul cosmic luat în ansamblul său. Este ceea ce Milne va numi, așa cum am mai spus, „principiul cosmologic al lui Einstein", iar mai tîrziu pur și simplu „principiul cosmologic". Dacă ne gîndim la cunoștințele empirice de atunci despre Univers și la tot ceea ce s-a aflat după aceea, precum și la dezvoltarea teoretică a cosmologiei care a urmat, sîntem tentați să vedem aici o exemplificare a acelei aptitudini pe care Einstein, așa cum spune el însuși, o dobîndise foarte timpuriu în fizică — aceea de a adulmeca urma care poate duce în profunzime [3] (« *dasjenige hinauszuspüren was in die Tiefe führen konnte* »). Exemplul ar fi însă îndoielnic, pentru că Einstein nu găsise totuși secretul devenirii universale.

În orice caz, sprijinită de descoperirile de la Mount Wilson, teoria relativistă a Universului s-a dezvoltat sub imperiul principiului cosmologic, iar atunci cînd Milne și concurenții săi au vrut să separe cosmologia de teoria relativității, ei s-au bazat tocmai pe acest principiu.

Într-adevăr, ideea unui Univers neomogen sau anizotrop, sau și una și alta, este în același timp și foarte tentantă și foarte

---

[1] S. HAKAYAMA, A. TANAKA, *Cosmological Implications of Physical Constants*, Progress of Theoretical Physics, Japan, 25, 5, 1961, pp. 858—860.

[2] Vezi, de exemplu, V. A. BAILEY, *The Steady State Universe and the Deduction of Continual Creation of Matter*, Nature, 184, 8, 1959, pp. 537—538.

[3] *Autobiographisches*, în *Einstein, Philosopher . . . , op. cit.*, p. 16.

dificil de pus în practică. De fapt ea apare de la sine din momentul în care se pune o problemă precisă cu privire la legătura eventuală a proprietăţilor structurale ale Universului — sau a unei anumite trăsături a evoluţiei sale — cu un proces ,,local'' care se poate imagina în mod rezonabil plecînd de la observaţie. Ca exemple pot servi confruntarea dintre mişcarea de expansiune cosmică şi condensarea materiei în galaxii şi a galaxiilor în roiuri, contrastul subliniat de Milne între expansiunea cosmică şi rotaţiile locale, observate atît de curent, sau ajustarea diferitelor scări temporale de evoluţie. Se vede imediat cît de nepotrivite sînt ipotezele de uniformitate cu proprietăţile concrete ale obiectelor cosmice. Dar, pe de altă parte, cum să te lipseşti de principiul cosmologic, prin ce să-l înlocuieşti? În baza cărui criteriu poţi determina acel grad de eterogenitate care ar fi suficient pentru a absorbi în mod rezonabil neregularităţile locale şi, în acelaşi timp, suficient de limitat pentru a se putea vorbi încă de Univers, pentru a asigura măsurătorilor din astronomie uniformitatea metrică fără de care acestea ar fi lipsite de sens?

În ceea ce priveşte ipoteza timpului cosmic, am arătat destul de detaliat mai înainte de ce se impune ea şi de ce îi deranjează totuşi pe cosmologii fideli teoriei relativităţii. Este suficient să evocăm neînţelegerile şi surprizele suscitate de Universul lui de Sitter pentru a reaminti ce problemă delicată întîmpină o cosmologie care vrea să se lipsească de ea, aşa cum vor arăta şi mai bine dealtfel, ciudatele proprietăţi ale lumii ,,în rotaţie'' a lui Gödel.

Totuşi în ultimii cincisprezece ani, mai mulţi autori au explorat în mod cu totul independent, posibilităţile care apar în cosmologia relativistă în cazul în care abandonează fie parţial, fie total principiul cosmologic sau postulatul timpului cosmic, sau pe amîndouă. Toţi aceşti autori se sprijină bineînţeles pe teoria relativităţii generalizate. Într-adevăr nu te poţi lipsi în acelaşi timp de ambele suporturi ale cosmologiei moderne. Postulatele de uniformitate fac ca cosmologia să existe independent de ecuaţiile lui Einstein, dar dacă am vrea să renunţăm în acelaşi timp şi la postulatele cosmologice şi la ecuaţiile relativiste, nu ar mai exista nici un fel de cosmologie [1].

---

[1] Această afirmaţie ar putea să pară simplistă, pentru că, după Heckmann, toate modelele relativiste au un echivalent în teoria newtoniană. Dar aceasta nu micşorează cu nimic semnificaţia observaţiei noastre: pentru o cosmologie lipsită de principiul cosmologic este necesară o teorie a gravitaţiei, iar cea a lui Einstein este unanim considerată ca cea mai bună.

Dacă lăsăm la o parte un memoriu al lui Einstein și Strauss publicat în 1945, asupra căruia vom reveni [1], primele două tentative deliberate de a construi un Univers relativist abandonînd postulatele robertsoniene par a fi cele două încercări contemporane ale lui K. Gödel și G. C. Omer [2]. Cu greu s-ar putea găsi ceva mai frapant decît contrastul dintre intențiile, spiritul și metodele acestor doi autori și ceva mai semnificativ în ceea ce privește diversitatea intereselor care animă gîndirea cosmologică. Omer, în calitate de discipol fidel al lui Tolman, căuta înainte de toate un model de univers care să pună de acord teoria relativității cu măsurătorile lui Hubble mai bine decît o făceau modelele robertsoniene. Lucrarea sa este un exercițiu de cosmologie inductivă. Kurt Gödel, dimpotrivă, vine în cosmologie ca filozof și ca matematician, fără a se preocupa de telescoape sau de ideile înaintașilor. După propria sa mărturie, el caută ilustrarea unei filozofii idealiste a timpului, care neagă realitatea obiectivă. Cercetările mai recente ale lui Raychaudhuri, Heckmann, Schücking, Robinson, pe de o parte, și Lindquist și Wheeler, Pachner și a unor autori sovietici, pe de alta, au o mai mare generalitate, deși obiectivele lor rămîn limitate. Scopul lor este de a folosi mai mult resursele teoriei relativității și de a reda o oarecare suplețe axiomelor robertsoniene.

Pentru primul grup, care rămîne credincios ipotezei fluidului cosmic perfect și omogen, adaptarea ipotezelor la acest model hidrodinamic trebuie să permită evitarea inconvenientelor care decurg din existența singularității inițiale și din nepotrivirea scării timpului. Mai ambițios, cel de-al doilea grup vrea să se lipsească de postulatul omogeneității, păstrîndu-l în schimb pe cel al izotropiei, și să obțină o structură metrică a Universului prin racordarea unor soluții locale ale ecuațiilor lui Einstein.

Încercarea lui Omer nu mai prezintă decît un interes istoric; ea era inspirată de un Tolman care îmbătrînea, din ce în ce mai empirist, din ce în ce mai convins că ipotezele de uniformitate, ale căror consecințe le explorase atît de bine, erau artificiale, avînd în vedere faptul că confruntarea lor cu măsurătorile și numărătorile lui Hubble dezamăgea în cele din urmă. Tolman avea prea multă încredere în observație în general și, în particular, în aceea a celebrului astronom, la opera căruia fusese asociat

---

[1] *The Influence of the Expansion of Space on the Gravitational Fields Surrounding the Individual Stars*, Rev. Mod. Phys., 17, 1945, pp. 120—124.

[2] K. GÖDEL, *An Example of a New Type of Cosmological Solutions of Einstein's Field Equations*, Rev. Mod. Phys., 21, *3*, 1949, pp. 447—450; G. C. OMER, *A Non-homogeneous Cosmological Model*, Astrophys. J., 109, 1949, pp. 164—176.

ocazional, pentru a acorda atenţia cuvenită acelei remarci a lui Milne după care „ortodoxismul" pozitivist îl ia în derîdere pe teoretician atunci cînd faptele îl dezmint, dar tace pudic atunci cînd rezultatele experienţelor, date ca adevăruri indiscutabile faţă de care nici o idee nu poate avea întîietate, se dovedesc în cele din urmă eronate...

Omer voia să arate mai ales că abătîndu-se, chiar discret, de la principiul cosmologic, putea construi un model de univers relativist în conformitate cu faptele de observaţie aşa cum le stabilise şi le interpretase Hubble la Mount-Wilson.

El păstra dealtfel cea mai mare parte a postulatelor robertsoniene. Dar Universul — infinit — încetează să mai fie omogen, iar dacă pentru observatorul uman acesta prezintă înfăţişări izotrope, aceasta se datorează poziţiei particulare a acestui observator în vecinătatea centrului, căci densitatea creşte pornind de la centru. Modelul se află pretutindeni în expansiune uniformă, dar viteza de expansiune este variabilă plecînd din centru, totul petrecîndu-se ca şi cum expansiunea ar fi început în centru şi s-ar propaga ca o undă sferică cu viteză finită.

Concluziile lui Hubble în această privinţă fiind acum abandonate, motivele speciale pe care le putea avea Omer pentru a alege acest tip particular de univers au dispărut, ceea ce face ca teoria sa să pară destul de lipsită de temei şi scoate mai bine în evidenţă principalul său inconvenient, acela că restaurează antropocentrismul pe care cosmologia părea să-l fi înlăturat definitiv şi complet. Omer şi-a atins desigur unul din scopurile propuse explicit, acela de a demonstra „flexibilitatea" teoriei relativiste, în prezenţa unor rezultate imprevizibile ale observaţiei. Dar el a mai dovedit un lucru la care fără îndoială nu se aştepta nici el, nici Tolman: fragilitatea unei cosmologii construite special pentru a urma îndeaproape ultimele rezultate ale observaţiei astronomice...

I. Universul „în rotaţie" al lui Gödel şi călătoria în trecut

Universul lui Gödel a apărut din nişte idei cu totul diferite. Proprietăţile surprinzătoare şi chiar paradoxale ale Universului lui de Sitter rezultau din structura sa metrică, fără ca această structură să fi fost inventată tocmai în scopul de a produce astfel de proprietăţi. Dimpotrivă, celebrul logician de la Princeton a fabricat dinadins o metrică cosmică cu intenţia de a deduce din ea unele consecinţe cărora le atribuie importanţă filozofică, cu toate că contrazic bunul simţ. El nu s-a arătat surprins descoperind

ciudățeniile care se puteau petrece într-un Univers pe care avea aerul că îl consideră adecvat imaginii lumii reale. Gödel se declară convins într-adevăr, că în teoria relativității este prezentă încă de la începuturile ei o filozofie idealistă a timpului; ceea ce vrea să arate este că, dezvoltînd toate consecințele implicate de relativitatea simultaneității, se poate obține „o dovadă fără echivoc în sprijinul tezei acelor filozofi care, ca Parmenide, Kant și idealiștii moderni, neagă obiectivitatea schimbării și o consideră ca o iluzie sau o aparență datorată modului nostru special de percepție"[1]. Într-adevăr, existența unei scurgeri obiective a timpului semnifică faptul că realul poate fi împărțit într-o suită de straturi de „acum" care intră succesiv în existență. Or, după teoria relativității, clivajul straturilor trebuie raportat la un observator ales. Conceptul de existență în sine nu admite însă relativitatea, „nu poate fi relativizat fără a i se distruge complet semnificația". Prin urmare, excluzînd posibilitatea ca trecerea timpului — adică separarea straturilor de „acum" care intră, au intrat sau vor intra în existență — să fie *absolută*, teoria relativității exclude de asemenea posibilitatea ca ea să fie *obiectivă*. Totuși, cosmologia obișnuită, în măsura în care se sprijină pe ipoteza timpului cosmic, ferește Universul real de consecințele acestei concluzii. Aceasta determină scopul cercetării lui Gödel, care este acela de a arăta printr-un contraexemplu că ipoteza timpului cosmic este străină de spiritul teoriei relativiste și că, în ipoteza uzuală a fluidului cosmic omogen și cu o densitate medie diferită de zero în Univers, există soluții cosmologice ale ecuațiilor lui Einstein (cu termenul în Λ), în care definirea unui timp absolut este imposibilă, neputîndu-se distinge vreun sistem de reparare a simultaneității și a succesiunii de oricare altul, dacă nu se face referirea la un obiect cosmic individual, de exemplu o anumită galaxie.

Modelul de univers care rezultă din această cercetare prezintă proprietăți extraordinare care decurg tocmai din faptul acesta[2]. Totuși, geometria sa este relativ simplă. Ea nu poate fi împărțită în spațiu și în timp decît local, dar reprezintă o varietate foarte simetrică și foarte regulată. Curbura sa spațio-temporală este constantă și negativă (natural, nu se poate spune nimic global despre curbura *spațiului*, pentru că nu pretutindeni există

---

[1] *A Remark About the Relationship Between Relativity Theory and Idealistic Philosophy*, în *Einstein, Philosopher . . .*, *op. cit.*, pp. 555—562. Ca exemplu de „idealist modern", Gödel îl citează pe McTaggart și articolul său *The Unreality of Time*, publicat în Mind, 1908.

[2] Anexa, VII, ec. 78.

„spaţiu" separat de timp). Metrica este statică, liniile de univers ale materiei sînt linii infinite de gen temporal, echidistante. În acest model nu poate să apară nici o deplasare spre roşu de origine structurală (ceea ce face îndoielnică identificarea sa cu Universul observaţiei).

Proprietăţile cele mai interesante ale Universului gödelian rezultă din absenţa timpului cosmic. În primul rînd, acesta este anizotrop în orice punct, în sensul că în principiu se poate observa în orice punct o rotaţie universală în raport cu sistemul de inerţie local, ceea ce evidenţiază o direcţie. Lucrul cel mai important este însă acesta : cu toate că se pot trasa pretutindeni linii de gen temporal — singurele care pot reprezenta mişcările şi acţiunile materiale — cu toate că în fiecare punct şi pe fiecare din aceste linii se poate distinge *un sens pozitiv al timpului*, în care aceste linii sînt în mod necesar parcurse de materie şi acţiunile materiale, există linii de gen temporal închise. Existenţa acestor linii închise are următoarea consecinţă. Dacă evenimentul P îl precede pe Q pe o linie de gen temporal deschisă, L_1, există şi o linie de gen temporal închisă, L_2, trecînd prin P şi Q, pe care Q îl precede pe P, sau, mai mult : dacă o entitate fizică cvasipunctuală parcurge spaţiu-timp-ul după L_1, în sens pozitiv, ea „trece" prin punctul-eveniment P înainte (după calendarul ei) de a „trece" prin punctul-eveniment Q ; dacă parcurge spaţiu-timp-ul după L_2, în sens pozitiv, ea trece prin Q înainte (după calendarul ei) de a trece prin P. S-ar putea deci reveni în trecut, fără a parcurge totuşi timpul în sens invers. Dacă ar fi vorba de o fiinţă umană, aceasta ar continua să „trăiască" [1]...

De fapt, chiar fără a ţine cont de expansiune, călătoria ar fi impracticabilă dacă Universul real ar fi conform modelului lui Gödel, date fiind distanţele enorme care ar trebui parcurse pe liniile de timp închise şi vitezele enorme cu care acestea ar trebui să fie parcurse [2]. Important este însă faptul de a se fi arătat că

---

[1] Aceste concluzii ale lui Gödel au fost contestate, prudent şi în mod parţial de către Chandrasekhar şi Wright, în cadrul unui studiu general al geodezicelor în modelul lui Gödel, *The Geodesics in Gödel's Universe*, Proc. Nat. Acad. Sc. U.S.A., 48, 1961, pp. 341—347.

[2] Luînd pentru densitatea medie a materiei valoarea admisă empiric, călătorul lui Gödel care ar dori să atingă un moment din trecutul său în t ani (măsuraţi în timpul său propriu) — presupunînd că dispune de un „carburant" în întregime convertibil în energie — ar trebui să ia cu el o masă de carburant egală cu de $10^{22}/t^2$ ori masa navei sale, adică, pentru o călătorie de zece ani şi o navă de o tonă, o sută de miliarde de miliarde tone de carburant. Independent de durata călătoriei, viteza sa în raport cu Pămîntul ar trebui să nu fie mai mică de $1/\sqrt{2} = 0,7$ din viteza luminii, adică 210 000 km/s. *A Remark* ..., *mem. cit.*, p. 561.

întoarcerea în trecut nu este absurdă din punct de vedere fizic (cu toate că părea să nu poată fi pusă în acord decît cu mare dificultate cu principiul cauzalității, punctele-evenimente P și Q putînd să-și schimbe între ele poziția în relația de cauzalitate), în sensul că nu este în contradicție cu legile naturii exprimate prin ecuațiile lui Einstein. Astfel Gödel consideră încheiată demonstrația filozofică pe care o căuta.

Am fi superficiali dacă am vedea aici numai un joc conceptual lipsit de semnificație, căci compatibilitatea Universului gödelian cu ecuațiile lui Einstein și, mai mult, conformitatea sa cu spiritul teoriei relativității dau o anumită greutate acestei demonstrații.

Bineînțeles, se impune de la sine obiecția că un model de univers care nu explică deplasarea spre roșu a nebuloaselor nu poate avea nici o semnificație și că proprietățile sale în ceea ce privește legăturile dintre spațiu și timp trebuie să fie considerate, dacă se poate spune așa, deosebit de ireale. Într-adevăr, existența deplasării spre roșu transformă în asemenea măsură perspectivele asupra filozofiei timpului fizic, încît orice discurs care apare din această filozofie ar trebui să țină cont de ea ca de un fapt esențial.

Gödel a văzut desigur obiecția și a arătat mai tîrziu, într-o discuție mai generală asupra căreia vom reveni, că cel puțin pentru o anumită clasă de modele în rotație, expansiunea (sau contracția) și existența liniilor închise de gen temporal sînt proprietăți asociate între ele. Dar răspunsul său filozofic la această obiecție merită să fie prezentat și examinat. Demonstrarea compatibilității cu legile naturii a lumilor în care nu are loc o trecere obiectivă a timpului, spune el, aruncă și o oarecare lumină asupra semnificației timpului într-o lume în care o astfel de trecere poate fi definită efectiv. Căci dacă afirmăm că într-o astfel de lume are loc scurgerea timpului absolut, atunci sîntem conduși să admitem consecința că realitatea efectivă a acestei treceri depinde de o aranjare particulară a materiei și a mișcării în Univers. Este adevărat... Chiar dacă Gödel adaugă că o poziție filozofică care duce la o astfel de consecință „cu greu poate fi considerată ca satisfăcătoare", de fapt el nu face decît să aducă o dovadă indirectă în sprijinul a ceea ce simpla existență a deplasării spre roșu sugerase cu o anumită insistență : că devenirea cosmică, dincolo de circumstanțele locale, ar putea fi un fel de fapt absolut, care depășește orice logică.

Dealtfel, demonstrația sa că realitatea trecerii timpului nu este deloc sigură este poate mai puțin decisivă decît lasă Gödel să se creadă. Într-adevăr, una din trăsăturile remarcabile ale analizei sale este aceea că pune perfect în evidență faptul că în mode-

lul său de univers, relația de precedare-succesiune este definită local fără echivoc în orice punct. În felul acesta, el cedează mult în favoarea unei ontologii a devenirii, căci convenția algebrică care permite, odată stabilit sensul timpului într-un punct, să se extindă această definire la orice punct vecin[1], nu este aplicabilă decît dacă, din punct de vedere fizic, plusul și minusul se deosebesc unul de celălalt, în scurgerea timpului, printr-un criteriu experimental, și dacă, trecînd de la un punct la altul, folosirea convenției algebrice nu intră în contradicție cu criteriul fizic. Altfel spus, trecerea timpului trebuie să fie recunoscută ca „obiectivă", cel puțin local. Problema dacă aceasta este sau nu în conformitate cu ideea pe care și-o face Gödel despre o filozofie idealistă a timpului rămîne de importanță secundară, căci oricum ar fi, ceea ce are sens pînă la urmă este disjuncția dintre trecerea timpului ca fenomen local și diferențial, și relația înainte-după aplicată la distanță spațio-temporală finită. Cu obișnuita sa perspicacitate, Einstein a notat că discuția lui Gödel aducea o importantă confirmare tezei că tocmai posibilitatea de transmitere a unui semnal dintr-un punct-eveniment în altul este cea care stabilește în definitiv orientarea relației temporale dintre ele. La distanță foarte mare criteriul își pierde sensul [2].

Să notăm de asemenea că dacă „aranjarea particulară a materiei și a mișcării" în Universul lui Gödel este astfel încît există linii închise de gen temporal, nu rezultă totuși că materia trebuie să parcurgă în mod natural sau spontan aceste linii. Ca toți cosmologii, Gödel, acceptînd ipoteza fluidului cosmic perfect, recunoaște prin aceasta că materia formează o structură geometrică bine definită în continuum-ul spațio-temporal. În toate modelele cosmologice se stabilește de fapt o deosebire între mișcările naturale ale *substratum*-ului cosmic și acele traiectorii artificiale parcurse de particulele animate de viteze foarte mari față de reperul local aflat în repaus. În Universul gödelian, această deosebire capătă însă un relief aparte, căci „liniile de univers ale materiei" definesc un curs natural al lucrurilor pe care îl urmează aceste imense traiectorii forțate care revin în trecut, ca și cum înclinația naturală a ființei nu ar impune un destin inevitabil și ca și cum ar fi posibil să urmeze cu prețul unui efort gigantic aceste traiectorii fără a înceta totuși să trăiască, deci să dureze. Modelul lui Gödel conduce deci chiar în miezul filozofiei timpului.

---

[1] Sensul temporal al unui vector ξ^i este definit de semnul produsului scalar $g_{ik}\xi^i u^k$, u^k fiind cvadrivectorul care reprezintă viteza materiei în punctul considerat.

[2] *Reply to Criticism*, în *Einstein, Philosopher* ..., p. 667.

Dar el lămurește de asemenea, într-o manieră definitivă, „drastică" cum spune Heckmann, o problemă importantă pentru cosmologia modernă, pentru că de la ea se plecase inițial. Cum în acest Univers care este conform ecuațiilor lui Einstein — este adevărat cu o valoare negativă pentru Λ — Cosmosul în ansamblul său se rotește, în orice punct, în jurul reperului local de inerție, este clar că principiul lui Mach nu este incorporat în ecuațiile lui Einstein.

Trebuie totuși să ne ferim a ne reprezenta această „rotație absolută" prin imagini prea simple și să credem că modelul lui Gödel îi dă dreptate lui Clark împotriva lui Leibniz. Axa rotației cosmice nu este o dreaptă definită, căci omogenitatea Universului face ca rotația să fie observabilă în orice punct în jurul unei axe care trece prin acel punct. Cît despre perioada rotației, ea este definită în mod absolut din momentul în care densitatea medie a materiei este fixată. Ținînd cont de valoarea empirică a acestei densități, găsim că rotația absolută în Universul real ar fi atît de lentă încît nici nu s-ar putea pune problema observării ei directe de către om [1].

Deși caracteristicile cele mai remarcabile ale Universului gödelian sînt legate de situația sa în raport cu timpul, este păcat totuși că autorul său nu a explicitat și consecințele cosmologice ale acestei extraordinare geometrii. Gödel schițează cel mult o explicație rapidă, cantitativă totuși, a uneia dintre ele: el se întreabă dacă rotația cosmică poate fi pusă în legătură cu rotația observată a galaxiilor. Dacă se admite că galaxiile, așa cum le observăm, s-au condensat în proporția de unu la două sute față de starea inițială a materiei din care s-au format (raport care se observă în medie între distanțele intergalactice și diametrele galaxiilor), legea conservării momentului cinetic dă o perioadă medie de cinci milioane de ani pentru rotația unei galaxii, număr evident prea mic față de cel observat, dar care nu este totuși absurd.

Ar rămîne să se explice neregularitatea observată în distribuția axelor de rotație ale galaxiilor. Într-un model static această explicație nu este posibilă din motive cosmologice. Ea este posibilă poate în modelele mai generale pe care Gödel le-a studiat după aceea.

Într-adevăr, la puțin timp după publicarea acestei prime cosmologii rotaționale, Gödel a propus o generalizare a ei studiind o clasă de modele care diferă de primul prin aceea că spațiul este finit și că se produce o expansiune — sau o contracție [2]. Din acest

---

[1] 2×10^{11} ani, adică două sute de miliarde de ani, cu o densitate de 10^{-30} g/cm^3.

[2] K. GÖDEL, *Rotating Universes In General Relativity Theory*, Proc. Intern. Cong. Math., Cambridge, I, 1950, pp. 175—181. Despre sensul exact al cuvîntului „rotație" și al expresiei „spațiu finit", vezi Anexa, VII.

studiu, din care Gödel nu dă decît rezultatele, reies cu destulă claritate anumite puncte de interes deosebit : existenţa liniilor închise de gen temporal (care, în acest al doilea memoriu, devin o „anomalie") nu este o consecinţă necesară a rotaţiei ; cel puţin în modelele care sînt finite spaţial, nu există linii de acest fel dacă rotaţia este suficient de lentă pentru ca nici o viteză liniară de rotaţie să nu depăşească viteza luminii. Aceasta obligă la reconsiderarea conceptului de timp cosmic : orice „rotaţie" exclude timpul cosmic în sensul robertsonian, cu simultaneitatea cosmică şi poziţia echidistantă a spaţiilor tridimensionale instantanee — timpul cosmic *metric*, pentru a folosi expresia lui Gödel. Atunci cînd rotaţia este destul de lentă se poate totuşi vorbi de un timp cosmic, pentru că există un sens unic pe toate liniile de gen temporal din Univers şi pentru că este imposibil ca un acelaşi parametru să *crească* pe o linie de gen temporal care uneşte două puncte şi să *descrească* pe o altă linie de acelaşi gen care uneşte aceleaşi două puncte. Aceasta este o dovadă importantă a faptului că un model relativist în rotaţie nu este în mod necesar incompatibil cu un Univers orientat temporal în ansamblul său, aşa cum se pare că este cel în care trăim.

Cît despre raportul dintre rotaţie şi expansiune sau contracţie, acesta este relativ simplu şi poate fi înţeles prin analogie cu mecanica clasică : expansiunea încetineşte rotaţia, contracţia o accelerează. În modelele finite spaţial considerate de către Gödel, faptul acesta nu are însă nici o consecinţă asupra orientării temporale, care depinde numai de viteza *liniară* maximă a rotaţiei.

Pe de altă parte, în aceste modele mai generale nu este necesar ca direcţia unei rotaţii locale să se transporte paralel cu ea însăşi de-a lungul liniilor de univers ale materiei ; aceasta nu are loc decît în cazul particular în care expansiunea este izotropă. Incoerenţa axelor de rotaţie ale galaxiilor încetează să mai fie acum un obstacol în interpretarea acestei rotaţii ca manifestare locală a rotaţiei cosmice. Într-adevăr, în cazul general direcţia rotaţiei unei galaxii ar depinde de momentul în care ea s-a format. Anizotropia expansiunii şi legătura ei cu mişcarea de rotaţie ar putea, după Gödel, să fie suficiente pentru explicarea formei spirale a galaxiilor.

Este adevărat că marea generalitate a fenomenului rotaţiei în Univers apărea oarecum în cele mai multe teorii cosmologice şi cosmogonice ca un fel de ciudăţenie, iar rotaţia cosmică a lui Gödel ar avea aprioric avantajul de a fundamenta existenţa rotaţiilor

pe o trăsătură structurală a Universului. Dar, aparent, Gödel nu se preocupă prea mult de cosmogonie; poate că, pentru el, problemele genezei își pierd interesul tocmai datorită absenței unei adevărate semnificații ontologice a devenirii.

II. Cosmologia relativistă după memoriile lui Gödel

Situate în cadrul cosmologiei moderne, cercetările lui Gödel apar, prin intenție, metodă și rezultate, ca o intervenție insolită, ca încă unul din acele momente prețioase pentru noi în care filozofia intervine, în felul său necuviincios și aproape scandalos — dar înarmată aici cu un talent excepțional și cu o matematică invincibilă — în desfășurarea unei științe care este ea însăși excepțională, încercînd de bine, de rău să se facă recunoscută ca „normală". La drept vorbind, intervenția lui Gödel era mai discretă decît cea a lui Milne, dar în același timp mai jenantă, fiind mai respectuoasă față de „ortodoxismul" relativist. În orice caz, ea a suscitat o indignare mai puțin zgomotoasă, opinia științifică rezonabilă apărîndu-se mai curînd printr-o tăcere destul de îndelungată împotriva indecenței acestui călător în trecut, față de care celebrul călător al lui Langevin nu este decît un plimbăreț de mahala.

Trebuie să recunoaștem dealtfel că „înăbușirea" modelului gödelian nu se explică numai prin aceste rațiuni de securitate intelectuală și de apărare a bunelor moravuri științifice. Filozofia lui Milne fusese susținută de mișcarea de expansiune cosmică, iar staționaritatea singurului model pe care îl elaborase Gödel în mod explicit era supărător de inactuală. Cît despre modelele mai generale, pe care le-a discutat puțin mai tîrziu, acestea aveau inconvenientul de a introduce în mod aparent arbitrar și fără vreun avantaj evident dificultăți matematice considerabile. Într-adevăr, la început Gödel nu admisese rotația cosmică decît din rațiunile filozofice despre care am vorbit, însă din punct de vedere al reprezentării Universului această idee părea destul de gratuită atîta timp cît nu exista o dovadă convingătoare că ea ar putea furniza o explicație satisfăcătoare a tot ceea ce se rotește în Univers la scară mare. „Folosirea adecvată" a rotației cosmice n-a fost descoperită decît mult mai tîrziu, atunci cînd Heckmann a putut să demonstreze că un model în rotație, pe care dealtfel îl presupune newtonian pentru mai multă simplitate, comportă posibilitatea unei inversări a contracției în expansiune, evitîndu-se singularitatea. Dar Gödel se preocupase foarte puțin de singularitatea cosmologică.

În acest fel cosmologiei relativiste i-au mai trebuit cîţiva ani pentru a depăşi net cadrul robertsonian.

Această nouă tendinţă este explicată cel puţin prin două motive. Primul motiv este banal : nimic nu opreşte pînă la urmă curiozitatea matematicianului ; or, spre deosebire de cea a naturalistului sau a istoricului, care este deseori atrasă de detaliu, de unic, de excepţional, curiozitatea matematicianului nu şi-a schimbat caracterul de la Platon pînă astăzi, ea merge drept la idei, adică la universal. În principiu, o ipoteză limitativă nu este acceptabilă pentru un matematician decît dacă s-a stabilit clar sistemul de concepte pe care-l implică şi s-a căutat cel puţin să se vadă ce s-ar întîmpla dacă ipoteza ar fi abandonată.

Dar mai există şi un alt motiv, pe care îl cunoaştem bine şi care de la descoperirea deplasării spre roşu nu a încetat să acţioneze ca un ferment pentru întreaga gîndire cosmologică : poate că este posibil ca, abătîndu-ne puţin de la ipotezele robertsoniene, să definim această structură mobilă din punct de vedere cosmologic pe care o impune observaţia, evitînd enigma fizică sau metafizică a singularităţii iniţiale la distanţă scurtă în trecut. Cosmologilor li s-au oferit două căi destul de diferite, iar pînă în prezent nu s-a ajuns la nici o convergenţă între ele :

a. Reforma cea mai radicală şi cea mai îndrăzneaţă ca principiu ar fi şi cea mai conformă cu spiritul inductiv al cosmologiei relativiste : ea ar consta din reconstituirea piesă cu piesă a Universului, racordînd soluţiile „locale" — sau „regionale" — ale ecuaţiilor lui Einstein corespunzătoare distribuţiilor de materie observate la scara galaxiilor sau a roiurilor de galaxii. Cosmologia s-ar baza atunci pe ipoteze mai puţin artificiale decît cea a fluidului cosmic continuu, omogen şi perfect. În plus, ea ar dispune de un mijloc prin care proprietăţile structurale ale Cosmosului pot fi puse în acord cu proprietăţile fizice ale marilor ansambluri astronomice care devin accesibile observaţiei puţin cîte puţin.

Dar, cel puţin pentru moment, executarea acestui program se loveşte de dificultăţi insurmontabile. Dat fiind caracterul neliniar al ecuaţiilor lui Einstein, compunerea efectelor exercitate de diferitele distribuţii de masă şi de energie asupra metricii spaţio-temporale nu poate asculta de o lege simplă. Mai mult, teoria relativităţii întîlneşte aici, dar într-o formă agravată, dificultăţile binecunoscute din fizica clasică, dificultăţi care ţin direct şi în mod esenţial de forma diferenţială a teoriilor fizice. Fiind date distribuţii arbitrare de sarcini şi de mase, aceste sarcini şi mase vor produce desigur în vecinătatea lor efecte electromagnetice şi gravitaţionale, dar aceasta nu înseamnă că *vor exista*, în sensul matematic al cu-

vîntului, soluţii ale ecuaţiilor care să reprezinte fenomenele. Într-adevăr, nu este exclus ca distribuţiile date să impună soluţiilor condiţii incompatibile între ele şi ca efectele fizice produse să nu mai poată fi descrise prin expresii matematice compatibile cu cele care sînt valabile local şi care se integrează în cazurile mai simple, în conformitate cu experienţa. A spune că teoria relativităţii nu garantează că Universul există...din punct de vedere matematic, este poate un joc de cuvinte, dar nu lipsit de sens.

De asemenea, atunci cînd Lichnérowicz propune pentru termenul „model de univers" o definiţie riguroasă care să dea o expresie satisfăcătoare din punct de vedere teoretic principiului relativist, după care geometria spaţio-temporală este determinată de distribuţia maselor şi a energiei, el defineşte un ideal cu totul inaccesibil cosmologiei[1]. El constată că „se ştie foarte puţin cu privire la soluţia generală a unor astfel de probleme". Iar Heckmann se face ecoul acestor constatări, scriind : „Pînă în prezent, problemele matematice care stau la baza încercării de a aborda cosmologia prin observaţie nu au fost rezolvate[2]."

Cercetările în vederea reconstituirii Universului ca varietate metrică pornind de la distribuţiile materiale care îl compun s-au limitat pînă în prezent la studiul mai mult sau mai puţin rafinat a ceea ce Heckmann numeşte „modele cu vacuole" sau, mai pitoresc, „modele-şvaiţer", adică universuri făcute prin racordarea de „vacuole" identice, de formă regulată şi distribuite regulat, în interiorul cărora o masă punctuală situată în centru determină o metrică presupusă suficient de apropiată de o metrică Schwarzschild.

b. Mult mai natural situate în prelungirea rezultatelor dobîndite de cosmologia relativistă sînt cercetările care, ca cea a lui Gödel, păstrează ipoteza fluidului cosmic perfect extins în spaţiu-timp, omogen, animat însă de „mişcări" ceva mai complicate decît expansiunea izotropă pe care i-o conferă cosmologia robertsoniană.

Aceste cercetări sînt în curs de desfăşurare şi nu se poate spune că ar fi adus pînă acum cosmologiei vreun rezultat la fel de important ca descoperirile de acum treizeci de ani ale lui Einstein, de Sitter sau Friedman. Autorii care s-au angajat pe cea de-a doua cale au dorit mai ales să pună în evidenţă consecinţele pe care le-ar putea avea abandonarea ipotezei izotropiei asupra singularităţii Universului în expansiune. În această privinţă, concluzia lor este

---

[1] *Théories relativistes ...*, *op. cit.*, pp. 65–66.
[2] *World Models*, *mem. cit.*, în *La structure et ...*, *op. cit.*, p. 150.

netă : un grad slab de anizotropie ar putea modifica considerabil, sub acest raport, concluziile inducţiei spre trecut. În ceea ce priveşte modelele neomogene, înainte de a studia mai îndeaproape cîteva exemple, să remarcăm că tocmai pe această cale pare să se fi angajat cosmologia în ţările socialiste, mai ales în Uniunea Sovietică.

a. Mobilizarea fluidului cosmic. Universuri anizotrope

Într-atît de mari sînt efectele produse asupra uniformităţii metrice a cadrului spaţio-temporal de cea mai mică concesie făcută variaţiei — chiar numai în sens cinematic — a conţinutului, încît chiar dacă ne menţinem la ipoteze foarte simple asupra fluidului cosmic, sau, aşa cum spune Heckmann, „la o formă foarte rudimentară de hidrodinamică", este posibil un număr foarte mare de universuri mai mult sau mai puţin complicate.

Prima încercare sistematică de a lărgi în acest sens cadrul ipotezelor robertsoniene asupra fluidului cosmic, după cea a lui Gödel, pare să fi fost cea a lui Amalkumar Raychaudhuri[1]. În afara *expansiunii* izotrope, fluidul cosmic perfect poate avea şi alte două „mişcări", *rotaţia* şi *forfecarea*[2]. Scopul cosmologului indian, scop pe care îl atinge datorită unei alegeri potrivite a coordonatelor, este acela de a generaliza ecuaţia lui Friedman, introducînd termeni care exprimă mişcările de rotaţie şi de forfecare şi rezultă clar că alura istoriei cosmice şi existenţa unei singularităţi la originea expansiunii se modifică sensibil. În conformitate cu ceea ce prevede analogia clasică cu *forţa centrifugă*, rotaţia exercită un efect opus gravitaţiei şi accentuează mişcarea de expansiune; forfecarea care deformează fluidul cosmic transversal, acţionează, dimpotrivă, în sensul condensării. Rezultă că, în cazul în care rotaţia este nulă[3], fără alte ipoteze, existenţa unei forfecări, departe de a atenua dificultatea legată de singularitate, o accentuează în măsura în care ea scurtează trecutul expansiunii, care este maxim atunci cînd forfecarea este nulă, adică în cazul robertsonian. Este adevărat că existenţa forfecării dă — pentru o valoare dată a densităţii medii la un moment dat — o mai mare

---

[1] *Relativistic Cosmology*, Phys. Rev., *4*, 1955, pp. 1123—6.

[2] Amintim că aceste „mişcări" nu sînt mişcări ale materiei *în* spaţiu, ci metrica spaţio-temporală este „cea care se mişcă", deoarece expansiunea, rotaţia şi forfecarea afectează *substratum*-ul, fără a prejudicia deplasarea particulelor faţă de acest *substratum*. Vezi Anexa, VII, ec. (73—74—75).

[3] E xistenţa rotaţiei exclude timpul cosmic şi antrenează o forfecare, dar forfecarea nici nu antrenează cu necesitate rotaţia, nici nu exclude timpul cosmic.

libertate în alegerea constantei Λ şi, în consecinţă, permite o o mai bună ajustare a acestei alegeri astfel încît să se împingă înapoi singularitatea. O astfel de manipulare nu este însă prea acceptabilă datorită arbitrarului său şi Raychaudhuri se alătură părerii lui Einstein şi a multor altor cosmologi, după care o teorie cu adevărat satisfăcătoare ar trebui să presupună că $\Lambda=0$. Rezultatul, limitat, însă demonstrat cu toată rigurozitatea, mai curînd dezamăgea.

Totuşi, Schücking şi Heckmann, făcînd cîţiva ani mai tîrziu inventarul principalelor tipuri de modele anizotrope, au arătat că dacă forfecarea nu contribuie la împingerea înapoi a *momentului* singularităţii, ea poate în schimb să aibă o influenţă decisivă asupra *naturii* sale[1]. În universurile izotrope, în momentul singularităţii spaţiul se reduce la un punct. Din punct de vedere fizic, aceasta înseamnă că atunci materia este condensată pînă la densităţi atît de mari, încît legile fizice cunoscute devin probabil inaplicabile — şi, în orice caz, supravieţuirea oricărei structuri materiale de tip cunoscut este exclusă. Or, în modelele anizotrope considerate de Schücking şi Heckmann, în momentul singularităţii spaţiul nu este redus la un punct, ci îşi pierde, dacă se poate spune aşa, numai una sau două din dimensiunile sale : fluidul cosmic se aplatizează, ca o picătură de ulei la suprafaţa apei, sau se alungeşte ajungînd la o linie. Ţinînd cont de scara la care este valabilă aproximarea materiei prin fluidul cosmic din teorie, spaţiul, la momentul singular, poate fi încă considerat destul de „gros" pentru a conţine multe lucruri : cele două dimensiuni, sau chiar unica dimensiune care rămîne, permit dispersarea materiei în aşa fel încît anumite structuri cel puţin şi, odată cu ele, legile fizice cunoscute, ar putea traversa fără a se deteriora prea mult o „gîtuitură".

Continuînd cercetările lui Schücking şi Heckmann, B. B. Robinson[2] a făcut un studiu aprofundat al unei clase de modele destul de simple, în care forfecarea este funcţie numai de timp, şi în care spaţiul poate degenera într-o suprafaţă sau o linie, dar niciodată într-un punct. Modelul este omogen şi foarte ortodox, în sensul că ecuaţiile lui Einstein sînt aplicate fără termenul cosmologic. El comportă un timp cosmic care este pretutindeni ortogonal spaţiului, iar spaţiul este, instantaneu, euclidian. Ca urmare, nu există o rotaţie a Universului, dar există o forfecare, căci coeficienţii diagonali ai metricii spaţiale sînt funcţii de timp diferite unele de

---

[1] *World Models*, în *La Structure et l'Évolution...*, pp. 149—158.
[2] *Relativistic Universes With Shear*, Proc. Nat. Acad. Sc. U.S.A., 47, 1961, pp. 1852—7. Anexa, VII, ec. 84.

altele, în aşa fel încît raportul unităţilor de lungime luate pe fiecare din axe se modifică de la un moment la altul. Cele trei funcţii de timp sînt astfel alese încît să nu aibă un zero comun, evitîndu-se astfel singularitatea punctuală. În general, singularităţile sînt linii, iar uneori, atunci cînd numai unul dintre coeficienţi se anulează pentru o valoare dată a timpului cosmic, sînt suprafeţe. Cînd timpul cosmic tinde către infinit, toate modelele lui Robinson se apropie asimptotic de Universul Einstein-de Sitter. Se pare că înfăţişările izotrope ale Universului observat nu exclud un grad de anizotropie care este suficient pentru ca singularitatea relativ apropiată în trecut, pe care o indică expansiunea, să fi putut fi de tip superficial sau liniar, nu punctual. Desigur ar trebui să ştim ce ar deveni proprietăţile fizice ale corpurilor în vecinătatea acestor singularităţi, dar aceasta este o problemă care, după cîte ştim, nu a fost tratată sistematic.

Nu numai forfecarea poate transforma trecutul expansiunii. După părerea lui Raychaudhuri şi conform analogiei clasice, acelaşi lucru trebuie să fie valabil şi pentru rotaţie. Dar efectele sale sînt mai dificil de dedus, datorită eliminării timpului cosmic şi intervenţiei inevitabile a unui efect de forfecare. Heckmann, care în toate lucrările sale cosmologice a menţinut mereu un paralelism riguros între cosmologia newtoniană şi cosmologia relativistă, ocoleşte dificultatea discutînd versiunea newtoniană a problemei[1]. Dacă în ecuaţia lui Friedman (sau mai curînd în analogul newtonian al acesteia) se introduce rotaţia, se constată că factorul de expansiune $R(t)$ nu se mai poate anula şi că „mişcarea" trebuie să se inverseze, trecînd de la contracţie la expansiune, pentru o valoare finită a densităţii. Folosind date empirice actuale şi ipoteze plauzibile cu privire la viteza expansiunii, Heckmann arată că o rotaţie chiar extrem de mică, neobservabilă la scara măsurătorilor umane, ar putea impune un maximum al densităţii perfect compatibil cu „supravieţuirea" stelelor, chiar a galaxiilor, după trecerea printr-o „gîtuitură" foarte largă.

Fie că o evită, sau că o transformă prin intervenţia rotaţiei sau a forfecării, lucrările autorilor citaţi au dovedit deci că singularitatea punctuală nu este consecinţa inevitabilă a expansiunii, aşa cum reieşea din cosmologia robertsoniană. Trebuie să atragem însă atenţia că această eventuală eliminare a stării hiperdense nu ar rezolva problemele puse de *istoricitatea* Universului. Or, aceste probleme sînt de neînlăturat pentru cosmologia relativistă, din momentul în care aceasta admite postulatul timpului cosmic

---

[1] *On the Possible Influence of a General Rotation on the Expansion of the Universe*, The Astrophys. Journal, 66, *10*, 1961, pp. 599—603. Anexa, VIII, ec. 97.

la care nimeni pînă acum, cu excepţia lui Gödel, nu a renunţat în mod clar şi fără echivoc, căci Heckmann evită problema tratînd rotaţia în cadrul teoriei newtoniene, unde evident există un timp cosmic. Modelul staţionar al lui de Sitter fiind exclus de ecuaţiile lui Einstein într-un Univers care nu este vid, iar deplasarea spre roşu eliminînd modelul static al lui Einstein, Cosmosul relativist are obligatoriu o istorie. De unde şi întrebarea pusă lui Heckmann de unii dintre auditorii comunicării pe care tocmai am prezentat-o: dacă Universul a putut traversa pretinsa singularitate fără ca condiţiile existenţei fizice să fi fost total transformate, cum se face că există încă surse de alimentare a proceselor cosmogonice ireversibile, ca fuziunea hidrogenului în heliu sau formarea piticelor albe? Heckmann a răspuns că el nu a pretins să explice istoria termodinamică a Universului, ci numai să arate că este inexact să se spună că legea lui Hubble implică existenţa unui *big-bang* în sens strict... Acest răspuns îl disculpa desigur pe autorul său, căruia nu i se poate reproşa că nu rezolvase o problemă pe care el nu o pusese, dar nu ducea totuşi la dispariţia problemei în sine. În acest punct deci discutarea problemei structurii conduce o dată mai mult la problema genezei, căreia îi va fi consacrat capitolul următor.

b. Modele izotrope şi neomogene. „Universul-reţea"

Din punct de vedere metodologic, cercetările contemporane asupra modelelor de univers neomogene se deosebesc destul de mult de cele precedente. Cu toate că şi ele introduc ipoteze simplificatoare drastice — fără de care, cum s-a spus, metoda ar avea puţine şanse de izbîndă — ele provin totuşi mai direct dintr-un principiu de inducţie. În loc ca totalitatea cosmică, finită sau infinită, să fie dată de la început, sub forma unui mediu continuu şi omogen presupus a satisface în orice punct ecuaţiile lui Einstein pentru cazul interior, Universul este clădit pornind de la elemente distincte. Prin urmare, nu există o soluţie cosmică a ecuaţiilor, ci soluţii locale care se racordează. De fapt, structurile locale sînt întotdeauna definite prin singura soluţie cunoscută a ecuaţiilor cîmpului care, mai ales datorită proprietăţilor sale de simetrie, se pretează la posibilitatea unei sinteze cosmologice: soluţia statică exterioară a lui Schwarzschild, care descrie metrica generată de o masă punctuală în jurul ei, soluţia extinzîndu-se şi la cazul în care masa centrală este repartizată într-o sferă omogenă[1].

---

[1] Vezi de exemplu R. C. TOLMAN, *Relativity...*, *op. cit.*, § 82, pp. 201–205. § 96, pp. 245–247.

Conform unei teoreme a lui Birkhoff[1], dacă simetria sferică este respectată, mişcările din interiorul sferei nu modifică cîmpul exterior.

Einstein şi Strauss au fost primii care au studiat îndeaproape problemele puse de inserarea vacuolelor Schwarzschild într-un Univers în expansiune[2]. La drept vorbind, scopul lor nu era acela de a construi un nou model de univers, ci de a examina dacă expansiunea globală a Universului ar putea avea vreo influenţă asupra legilor de mişcare din interiorul vacuolei, dacă, de exemplu, mişcarea planetelor în jurul Soarelui ar putea fi afectată. Concluzia lor a fost că există întotdeauna un anumit domeniu sferic în interiorul căruia soluţia statică a lui Schwarzschild se aplică cu rigurozitate, efectul expansiunii izotrope fiind acela de a deplasa frontierele acestui domeniu.

Trebuie deci să li se recunoască lui R. W. Lindquist şi J. A. Wheeler[3] prioritatea în căutarea unui adevărat model de univers neomogen, dar izotrop — a unui „Univers-reţea", după propria lor expresie. Analogia hidrodinamică este abandonată în favoarea unei alte analogii, sugerată de fizica solidului. Într-adevăr, autorii se inspiră din metoda Wigner-Seitz pentru analiza funcţiilor de undă ale unei reţele cristaline. Asemenea unui cristal, Universul este compus din celule şi pentru obţinerea soluţiei globale trebuie racordate soluţiile locale. Deoarece însă în cazul cosmologic forma ecuaţiilor nu este aceeaşi ca în problema Wigner-Seitz, nu poate fi valabil acelaşi tip de condiţii de racordare la frontierele celulelor, iar noile condiţii de racordare vor servi tocmai pentru a determina dinamica Universului considerat în ansamblul său. Într-adevăr, la frontiera dintre două celule producîndu-se în mod necesar o discontinuitate, această situaţie poate fi interpretată presupunînd că centrele de masă ale celor două celule se mişcă în raport cu frontiera în aşa fel încît să anuleze discontinuitatea. Dacă repartiţia celulelor ascultă de condiţii convenabile de regularitate şi de simetrie, trebuie să rezulte o mişcare generală de expansiune sau de contracţie a ansamblului.

Din această discuţie, pe care am simplificat-o la extrem, se schiţează o idee atrăgătoare pentru filozof : proprietăţile întregului ar rezulta din legile de compunere pe care le impune natura elementelor; ele ar putea fi construite deci, nu impuse aprioric sau

---

[1] R. C. TOLMAN, *Relativity...*, § 99, pp. 252—253.

[2] *The Influence of the Expansion of Space on the Gravitational Fields Surrounding the Individual Stars*, Rev. Mod. Phys., 17, 1945, pp. 120—124.

[3] *Dynamics of the Lattice-Universe by the Schawarzschild Cell Method*, Rev. Mod. Phys., 29, 3, 1957, pp. 432—443.

deduse în mod hazardat pornind de la observaţia cea mai îndepărtată, adică cea mai nesigură. Dacă ne amintim că soluţia lui Schwarzschild reprezintă baza tuturor verificărilor experimentale ale relativităţii generalizate cunoscute pînă în prezent, sîntem tentaţi să ne gîndim că drumul propus de Lindquist şi Wheeler este sigur din punct de vedere epistemologic.

Numai că executarea acestui program este departe de a merge de la sine : pe o hipersferă tridimensională de comparaţie, N puncte vor fi dispuse în aşa fel încît fiecare să fie echidistant faţă de vecinii săi cei mai apropiaţi, ceea ce limitează numărul de valori posibile pentru N, cea mai mare fiind şase sute. În jurul acestor puncte, luate ca centre, se vor decupa pe hipersferă N celule poliedrice a căror metrică se va identifica cu metrica unei celule Schwarzschild avînd acelaşi centru şi condiţii de racordare convenabile la frontiere. Găsirea acestor condiţii este dealtfel o problemă delicată din punct de vedere geometric, pentru că, exprimîndu-ne foarte grosier, este vorba de aproximarea cuburilor prin sfere şi de înlocuirea acestor pseudo-cuburi, care se includ exact unele în celelalte, prin sfere care sau se întretaie, sau lasă între ele o „ţară a nimănui" (*no man's land*). Foarte delicată este de asemenea ajustarea timpului local din fiecare celulă, unde el depinde de distanţa de la centru, cu un timp cosmic legat de hipersfera de referinţă.

Dinamica globală care rezultă din această ajustare subtilă este apropiată de cea a unei hipersfere omogene cu aceeaşi masă, mai precis cu cea a unui Univers închis oscilant de tip Friedman-Einstein[1] ; cu cît numărul de celule este mai mare cu atît se apropie mai mult de acest model, ceea ce confirmă indirect valoarea de aproximaţie a ipotezei uniformităţii.

În ceea ce priveşte singularitatea sau singularităţile istoriei cosmice, cosmologia lui Lindquist şi Wheeler conduce la rezultate cu totul diferite de cele ale cosmologiei anizotrope a lui Raychaudhuri şi Heckmann şi nu se poate spune că, la fel ca aceasta din urmă, ea ar putea contribui prea mult la liniştirea îngrijorării fizicienilor şi astronomilor faţă de perspectiva — sau retrospectiva — unei stări hiperdense a Universului. Prin însăşi existenţa pseudo-celulelor Schwarzschild, a căror metrică nu poate fi regulată în vecinătatea centrului, singularităţile locale sînt multiplicate, iar trecerea Universului în întregul său prin starea de contracţie maximă ar putea avea drept consecinţă dispariţia oricăror domenii în care metrica poate fi regulată — ceea ce nu poate să nu suscite curiozitatea lui J. A. Wheeler, care, de multă vreme îşi obişnuise cititorii să se mişte în excepţional...

---

[1] Anexa, VI, C, 2, ec. 70.

Versiunea Universului-rețea al lui Lindquist și Wheeler pe care o propune Jaroslav Pachner conduce spre alte orizonturi[1]. Pachner, care pare să fi fost încurajat în cercetările sale de L. Infeld, colaborator al lui Einstein și veteran al relativității, vede în încercarea predecesorilor săi o reîntoarcere fericită la adevărata metodologie einsteiniană. Toate nenorocirile cosmologiei relativiste ar proveni din faptul că aceasta a dorit să se servească de membrul al doilea al ecuațiilor lui Einstein și să facă ipoteze la scară cosmică asupra naturii „tensorului material" $T_{\mu\nu}$. Pachner spune că știe de la Infeld că Einstein considera introducerea acestui tensor în ecuații ca o dovadă de „prost gust". În orice caz, după Pachner, trebuie să ne lipsim de el în cosmologie, semnificația sa fiind de fapt atît de imprecisă încît te poți servi de el pentru a exprima orice, chiar — și mai ales, cum fac Hoyle și McCrea — generarea *ex nihilo*. Altfel spus, problema cosmologică ar trebui readusă la discutarea ecuațiilor pentru cazul exterior, particulele materiale nefigurînd decît ca singularități ale cîmpului. Metoda lui Lindquist și Wheeler este deci cea bună. Pachner folosește rezultatele și simplifică postulatele acestora și le generalizează. Printre altele, el nu mai presupune că spațiul omogen de referință este închis. El le acordă încredere cu privire la partea cea mai delicată poate a lucrării, admițînd valoarea aproximării celulelor rețelei cosmice prin celulele Schwarzschild și poate astfel enunța cele trei axiome ale cosmologiei sale :

1. Geometria cosmică este riemanniană și poate fi definită o curbură medie a spațiului, K_1.

2. Universul este împărțit în N celule egale, N fiind finit sau infinit, și masa prezentă în fiecare celulă determină la frontiera sa o curbură spațială $\overline{K}$.

3. $\overline{K} = K_1$.

Originalitatea lui Pachner constă în interpretarea cu ajutorul acestor axiome a anumitor concepte tradiționale ale cosmologiei relativiste. El nu ezită să introducă o relație între *densitatea* Universului și raza de curbură a modelului izotrop și omogen de comparație. Procedeul pare într-adevăr puțin surprinzător : introducînd ecuații în care intervine *densitatea* — care este în mod tradițional una din componentele tensorului material atît de riguros proscris — Pachner revine nici mai mult nici mai puțin la ipoteza fluidului cosmic și la metodele cosmologiei relativiste „clasice". Dealtfel, puritatea logică a construcției contează prea puțin și

[1] *Zur relativistischen Kosmologie*, Ann. der Phys., 8, 1961, pp. 60—75.

ceea ce este interesant este că Pachner spune cu privire la această *densitate* şi la relaţiile în care apare ea multe lucruri remarcabile... tocmai ceea ce reproşează el altora că pun pe seama tensorului material. El presupune, într-adevăr, că densitatea depinde direct de timp (timpul cosmic revine odată cu modelul izotrop de comparaţie) printr-o funcţie arbitrară. Aceasta revine însă la a admite posibilitatea unei generări sau a unei anihilări de materie-energie, care este, pe de altă parte, după relaţiile lui Pachner, legată de valoarea constantei cosmologice Λ.

Dacă constanta Λ este nulă, cantitatea de materie-energie se conservă şi Universul corespunde aproximativ modelelor Friedman-Einstein. (În clasificarea lui Pachner, Univers de tip I). Dacă Λ este pozitivă (respectiv negativă), se generează continuu materie-energie (respectiv se anihilează). În cazul generării continue, se pot face două ipoteze relativ la condiţiile acestei generări : sau rămîne constantă densitatea masei noi (Univers de tip II), sau cea a masei totale (Univers de tip III). În acest din urmă caz, metrica omogenă de referinţă este cea a lui de Sitter, Pachner regăsind astfel, prin intermediul cosmologiei relativiste, teoria stării staţionare...

Deşi afirmă că nu citează cazurile II şi III decît cu titlu informativ şi se limitează la cazul I, care implică conservarea cantităţii de materie-energie, Pachner introduce totuşi în formulele unei cosmologii care se vrea relativistă ipoteza generării continue.

Chiar dacă nu ia în consideraţie generarea continuă ca ipoteză fizică, el este în orice caz înclinat să discute foarte pe larg posibilitatea *transmutaţiei* formelor de materie-energie unele în altele. Ca urmare, Pachner propune, cel puţin într-unul din articolele sale[1], o soluţie destul de neaşteptată a problemei singularităţii : el presupune că energia cinetică a expansiunii ar putea fi asimilată unui anumit tip de masă, „masa lui Hubble". Într-un Univers aproximat de un model închis al lui Friedman (tip I, cu conservare), expansiunea se încetineşte înainte de a se transforma în contracţie. După Pachner, această deceleraţie ar însemna condensarea energiei cinetice în masă, cu apariţia continuă de noi stele şi galaxii în tot timpul fazei de expansiune. În punctul maxim, deoarece întreaga „masă Hubble" este condensată în materie, Universul ar începe să se contracte din ce în ce mai repede sub acţiunea gravitaţiei. Accelerarea mişcării s-ar traduce prin evaporarea materiei în energie cinetică pînă cînd, în punctul maxim al contracţiei, întreaga materie fiind transformată în mişcare, rea-

[1] *Dynamics of the Universe*, Acta Phys. Pol., 19, *6*, 1960, pp. 662—673.

pare expansiunea. Nu ar exista deci în istoria Universului o stare hiperdensă, pentru simplul motiv că contracţia ar face să dispară masa.

Această schemă ingenioasă, dar hazardată, trebuie să fie confruntată cu consideraţiile lui Tolman şi Zanstra asupra termodinamicii modelelor relativiste oscilante. Într-un articol ulterior, Pachner pare să uite această primă presupunere : funcţia arbitrară de timp, de care depinde densitatea materiei, ar putea fi considerată ca o funcţie de raza de curbură a spaţiului de referinţă. În acest caz, ea ar avea următorul sens fizic : pe lîngă forma obişnuită, cu efect gravitaţional, a materiei, ar putea exista şi alte forme care nu ar avea influenţă asupra geometriei cosmice.

Cercetările asupra modelelor relativiste neomogene şi asupra condiţiilor racordării lor la modelele de tip Friedman-Einstein[1] sînt la ordinea zilei în Uniunea Sovietică. Un studiu al lui Şirokov şi Fisher[2] se bazează pe ipoteze de lucru mai puţin restrictive decît cele ale lui Pachner. Aceşti autori admit folosirea tensorului material în membru al doilea al ecuaţiilor lui Einstein, dar, spun ei, acest tensor nu reprezintă decît o medie, pentru că de fapt materia şi energia sînt discontinue. Aşadar, trebuie ca şi tensorii geometrici din primul membru să fie consideraţi ca medii, iar componentele $g_{\mu\nu}$ trebuie considerate ca suma unei metrici medii şi a neregularităţilor locale, ceea ce introduce importante complicaţii matematice. Concluzia autorilor este însă că, dîndu-se metricii cosmologice această formă mai exactă, singularitatea punctuală a modelelor Friedman-Einstein ar putea pur şi simplu să dispară.

---

[1] Este vorba de soluţiile ecuaţiilor lui Friedman în care constanta cosmologică este nulă şi de modelele celei de-a doua cosmologii a lui Einstein; vezi Anexa, V, VI.

[2] M. F. ŞIROKOV, I. Z. FISHER, *Isotropic Space with Discrete Gravitational Field Sources* (trad. engl.), Soviet Astronomy, *6*, 1963, pp. 699—705.

Partea a treia

TIMP ȘI COSMOGONIE

Capitolul VIII

DEVENIREA COSMICĂ

Capitolele precedente ar fi trebuit să arate suficient de clar că punerea şi discutarea problemei cosmologice, în sens strict, a problemei structurii, precum şi logica internă a tuturor soluţiilor propuse pînă în prezent conduc de la sine la punerea problemei genezei. Descoperirea modelelor cosmologiei relativiste a însemnat totodată şi descoperirea faptului că nu există aproape nici un motiv pentru a presupune că Universul poate fi reprezentat printr-o metrică statică. Foarte curînd după aceea gîndirea cosmologică a ajuns să fie dominată de enigma singularităţii iniţiale la un interval finit în trecut — şi este dominată şi acum. Această enigmă a motivat recent diversele încercări făcute în interiorul teoriei relativităţii în vederea lărgirii cadrului ipotezelor robertsoniene; ea este de asemenea cea care a încurajat cosmologia să iasă din cadrul teoriei relativităţii, pentru că teoria stării staţionare, mai ales, s-a prezentat întotdeauna ca o teorie capabilă să furnizeze un remediu drastic împotriva acestei maladii congenitale a cosmologiei moderne. În orice caz, cosmologia structurală trebuie, după preceptul lui Zaratustra, să găsească simboluri, care să vorbească despre timp şi despre devenire şi să găsească o justificare pentru ceea ce este pieritor.

Tocmai spre aceasta se îndreaptă astrofizica, prin propria sa evoluţie, independent de relaţiile sale cu cosmologia. Progresele conjugate ale fizicii experimentale şi ale observaţiei astronomice au fost atît de mari, încît la toate scările şi în toate domeniile astrofizicii problemele de geneză şi de evoluţie sînt la ordinea zilei. Stele, sisteme planetare, grupări de stele de orice natură şi de orice dimensiuni, galaxii şi roiuri de galaxii, iar la cealaltă extremitate speciile atomice, toate acestea au încetat de a mai fi considerate pur şi simplu ca entităţi care trebuie descrise în starea în care le vedem. Presupunerea tradiţională a astronomiei, aceea că obiectele cereşti sînt forme stabile şi permanente, a fost înlocuită prin pre-

judecata contrară, care duce la bănuiala că, dincolo de înfăţişările statice ale cerului — datorate instantaneităţii observaţiei umane— se ascund transformarea şi mişcarea. O stea variabilă sau o nouă erau pentru clasici obiecte aberante, ciudate chiar; pe cînd astăzi permanenţa este cea care pare a constitui excepţia. Întreg tabloul cosmic, cu detaliile sale uneori incredibil de fine, se află antrenat într-un vîrtej gigantic.

Se va spune poate că problema originii lumii şi cea a sfîrşitului timpului sînt tot atît de vechi ca şi civilizaţia şi că, în ciuda lui Parmenide şi a iluştrilor săi urmaşi, lui Heraclit nu i-au lipsit niciodată discipolii. Dar atenţia trebuie îndreptată spre ceea ce este cu adevărat nou, poate din punct de vedere metafizic nou, în concepţia modernă a devenirii cosmice. Este adevărat că problema cosmogonică a frămîntat întotdeauna spiritul, iar astrofizica nu face decît să transforme în discurs pozitiv vechile visări despre timpul naşterii şi al morţii. Dar punerea problemei structurii a transformat sensul problemei cosmogonice. Într-adevăr, nu este vorba numai de devenirea lucrurilor în spaţiu, ci de devenirea spaţiului şi a fiinţei înseşi a timpului. Conţinutul timpului nu poate fi separat de timp mai mult decît conţinutul spaţiului de spaţiu, aşa încît rezultatele cercetării structurale au un sens cosmogonic şi, invers, orice progres în cunoaşterea evoluţiei concrete a entităţilor materiale are implicaţii inevitabile asupra datelor problemei structurii. Există deci o legătură esenţială între toate aspectele problematicii fizico-matematice a timpului, care datorită marilor dificultăţi pe care le ridică, aproape că duce la disperare.

Cosmologii şi astronomii par acum definitiv convinşi de această omniprezenţă a timpului. Constatarea lui Couderc că „vrînd-nevrînd, astronomul anului 1960, făcînd cosmologie, face în acelaşi timp cosmogonie [1]", este în acord cu maxima lui Ambarţumian, după care:

„Problema cosmogonică este problema fundamentală a astronomiei şi a astrofizicii. Orice problemă particulară, dar care prin implicaţiile ei atinge principiile, va căpăta deci în mod inevitabil un sens cosmogonic chiar în cursul soluţionării ei [2]".

Fără îndoială însă că nu au fost explorate încă toate consecinţele pe care le poate avea această întrepătrundere dintre devenirea formei şi cea a conţinutului. În particular, implicaţiile descoperirilor

---

[1] *Des plus grandes distances aux plus grandes durées*, L'Astronomie, 1962, p. 329.

[2] *La Méthode en Cosmogonie*, în *Le Cosmos*, Recherches internationales, 14—15, 1959, pp. 22—41.

astronomiei empirice şi ale teoriei cosmologice asupra problemei — sau enigmei — ireversibilităţii fizice vor necesita probabil cercetări îndelungate şi pline de răbdare. Tocmai asupra acestei joncţiuni, încă imperfecte, între cosmologie, cosmogonie şi teoria ireversibilităţii fizice am dori să ne îndreptăm mai întîi atenţia.

A. Ireversibilitatea fizică şi cosmologia

Se ştie că cel de-al doilea principiu al termodinamicii exprimă sub o formă matematică precisă, convenabilă în fizică, ideea vagă şi confuză, indiscutabilă totuşi, că fenomenele naturale urmează în general şi de preferinţă un anumit curs care împiedică şi limitează acţiunile tehnice ale omului, aşa încît nu trebuie să ne aşteptăm ca evenimentele să tindă spontan spre realizarea intenţiilor noastre, ci dimpotrivă, spre uzarea şi degradarea produselor activităţii noastre. Într-adevăr, sînt suficienţi cîţiva zeci de mililitri de apă puşi într-o sticlă care conţine un vin de calitate pentru a nimici efortul secular a zece generaţii de viticultori; lichidul preţios nu va mai putea fi niciodată separat de cel obişnuit.

Cu cel de-al doilea principiu şi cu noţiunea de entropie, fizica dispune de o lege de ireversibilitate a cărei generalitate nu este limitată în principiu de nimic, cu toate că pentru a o aplica trebuie să dispunem de relaţii care să asocieze entropia unui sistem în evoluţie cu mărimi care să permită măsurarea acestei evoluţii.

Or, cu toate că fondatorii termodinamicii nu au fost preocupaţi în primul rînd de această problemă, este natural ca această lege universală a ireversibilităţii să fie pusă în legătură cu cea mai indiscutabilă dintre toate evidenţele, anume că timpul se scurge şi se scurge întotdeauna în acelaşi sens.

Enigma apare din momentul în care se observă că toate legile fizice structurale, acelea care guvernează fenomenele elementare la care conduc analizele conceptuale şi experimentale ale entităţilor fizice, sînt reversibile în raport cu timpul: dacă $f(t)$ este o soluţie a ecuaţiilor, atunci $f(-t)$ este de asemenea o soluţie, care corespunde unor condiţii iniţiale simetrice. Or, valabilitatea legilor structurale ale fizicii, cel puţin cea a teoriilor clasice, nu mai poate fi pusă deloc la îndoială. Cum este oare posibil ca prin compunerea unor fenomene elementare, conduse de legi simetrice în raport cu timpul, să se obţină fenomene complexe, care ascultă de o lege de ireversibilitate? Aceasta este enigma.

Este cunoscut modul în care s-a încercat rezolvarea ei : legile structurale sînt legi elementare. Printre altele, cel de-al doilea principiu descrie fenomene macroscopice în care intervine un număr enorm de elemente. Ireversibilitatea este un efect de masă şi tocmai în numerele mari trebuie căutată motivaţia multor fenomene. Adevăratul nume al entropiei este „probabilitate''. Sistemele fizice evoluează spontan spre distribuţiile macroscopice cele mai probabile, adică acelea care corespund configuraţiilor microscopice cele mai numeroase. Punerea în formă matematică a acestei idei, operă a unor mari pionieri ca Boltzmann şi Maxwell, a permis elaborarea teoriilor statistice care domină ramuri întregi ale fizicii. Dar se lămureşte oare în felul acesta şi enigma noastră? Fără îndoială că nu, se poate răspunde fără teama unei dezminţiri serioase. Şi aceasta din mai multe motive, pe care, deşi eventual se pot combina într-unul singur, este mai comod să le expunem separat la nivelul general la care ne situăm :

1. În primul rînd, interpretarea statistică a ireversibilităţii termodinamice dacă este examinată cu atenţia cuvenită, scoate în evidenţă destul de clar faptul că este cel puţin imprudent să identificăm pur şi simplu sensul *timpului* cu sensul vreunui proces fizic anumit. În paharul în care se toarnă apa, vîrtejurile se dispersează, undele se amortizează propagîndu-se şi reflectîndu-se de pereţi ; cu cît lichidele se întrepătrund mai profund, cu atît moleculele lor se amestecă mai mult. La baza tuturor acestor fenomene de natură diferită şi la scări diferite, se schiţează clar un sens unic ; un acelaşi „*t*'', orientat în acelaşi sens, ar figura şi în ecuaţia undelor şi în cea a difuziei lichidelor, dacă am avea posibilitatea să scriem aceste ecuaţii. Energetica rezumă situaţia spunînd că entropia amestecului creşte.

Dar ea nu va putea creşte indefinit. O probabilitate poate atinge, dar nu poate depăşi valoarea unu, adică amestecul va atinge o stare de omogenitate perfectă, care nu va putea apoi decît fie să se menţină, fie să se distrugă. Or, mişcarea moleculară nu încetează şi timpul nu se opreşte. Fenomenului de ansamblu, orientat în mod unic, îi urmează mişcări parţiale şi locale de sens contrar, care fac ca sistemul să oscileze în jurul stării sale cele mai probabile. Înseamnă aceasta că timpul nu mai are o direcţie unică?

Răspunsul este uşor de dat, dar este compromiţător : paharul şi conţinutul său nu reprezintă decît o mică parte a lumii, care nu poate fi izolat de mediul înconjurător decît prin abstractizare. La suprafaţa lichidului şi prin pereţi continuă să se producă interacţiuni între microcosmos şi macrocosmos ; acestea definesc sensul timpului dincolo, sau dincoace, de situaţia internă a amestecului.

Dar este acesta răspunsul la întrebare? Nu este mai curînd o deplasare, şi încă destul de periculoasă, a problemei? Căci este clar că un raţionament de acest fel ne va conduce „din aproape în aproape" la totalitatea fenomenelor fizice. Dacă nu vrem să spunem nimic despre aceasta, ceea ce ar fi o atitudine prudentă, vom fi siliţi să mărturisim că în concluzie nu se ştie dacă timpul este într-adevăr orientat; aceasta l-ar pune pe fizician într-o situaţie la fel de bizară şi de nepotrivită ca şi pe filozoful care „neagă existenţa lumii exterioare". Dacă, pe de altă parte, presupunem, fie chiar într-un mod cu totul abstract, că mulţimea fenomenelor cosmice formează un tot, în care sînt posibile în principiu interacţiuni directe sau indirecte între toate părţile sale, ne va fi greu să evităm, dată fiind extrema generalitate a raţionamentelor termodinamice, considerarea acestui sistem ca supus, în evoluţia sa, celui de-al doilea principiu. Universul ar trebui deci, după un timp suficient de lung, să atingă acea stare în care se găseşte conţinutul paharului după cîteva minute şi în care entropia sistemului nu mai poate creşte, orice evoluţie globală fiind încheiată, nemaiputîndu-se petrece decît fluctuaţii locale şi trecătoare. Într-o astfel de stare a Universului, săgeata termodinamică a timpului va dispărea. Ceva „se va mai petrece" totuşi, vor avea încă loc „evenimente" care pot fi ordonate conform relaţiei înainte-după. De data aceasta nu mai poate fi evitată întrebarea: este posibil să se conceapă un timp a cărui orientare să nu fie unică?

2. Introducerea noţiunii de probabilitate şi a formalismului matematic corespunzător este desigur de o eficacitate indiscutabilă şi nediscutată pentru toate problemele de masă, pentru toate cele care pot fi privite în perspectiva numerelor mari. Nu există probabil aspect asupra căruia fizica clasică şi fizica modernă să fie într-un acord mai deplin. Dar acest succes practic nu înlătură echivocul epistemologic al conceptului. Controversa dintre „subiectivişti" şi „obiectivişti" nu a putut fi niciodată rezolvată în mod categoric. Trebuie evident să fim de acord cu aceştia din urmă asupra faptului că, atunci cînd fizicianul, biologul sau agentul de asigurări atribuie o probabilitate unui eveniment, sau unui şir de evenimente, ei nu procedează în mod arbitrar, ci în funcţie de ceea ce ştiu prin raţionament şi experienţă despre ansamblurile considerate. (Ei nu spun ca Pascal într-un text celebru: pentru că nu există decît două eventualităţi, între care nu am nici un motiv să aleg, atribui fiecăreia dintre ele probabilitatea 1/2). Dar trebuie să recunoaştem totuşi că probabilitatea rămîne, pînă la un anumit punct, măsura ignoranţei. Pe măsură ce ignoranţa face loc cunoaşterii, sau chiar aproximării cunoaşterii, noţiunea de probabilitate

dispare. Astfel, cunoaşterea mişcărilor Lunii nu este o problemă de probabilitate. Dacă această noţiune este atît de esenţial legată de cunoaşterea ansamblurilor, aceasta se datoreşte faptului că viziunea unui ansamblu este însoţită de o anumită miopie, care şterge deosebirile dintre indivizi.

Dar dacă probabilitatea este o noţiune echivocă şi dacă ireversibilitatea este o problemă de probabilitate, trebuie oare să spunem că sensul timpului este echivoc? Dacă, pe de altă parte, ea este categoric „subiectivă" şi nu face decît să exprime un anumit raport între ceea ce ştim şi ceea ce ignorăm despre lucruri, nu rezultă de ce cursul real al evenimentelor ar avea vreo legătură cu ea. Cunoaşterea şi ignoranţa sînt, printre altele, funcţii de poziţia gînditorului şi a observatorului în timp. Ei ignoră în aceeaşi măsură trecutul şi viitorul. Certitudinea este *hic et nunc*, pe cînd ignoranţa emană pornind de aici.

3. Aceasta ne duce dealtfel la lucrul cel mai important: de fapt, nu este exact să se spună că interpretarea statistică a legilor termodinamicii indică sensul timpului, iar reversibilitatea legilor elementare nu este depăşită prin intervenţia numerelor mari. Nu vom intra în discuţia delicată a acestor aserţiuni, dar putem considera problema înţeleasă. Dacă un sistem statistic se găseşte la momentul t într-o stare suficient de îndepărtată de starea de entropie maximă — adică într-o stare „evolutivă", în care săgeata timpului este bine definită — aceleaşi motive care ne permit să afirmăm că la momentul $t + \Delta t$ sistemul va fi într-o stare mai probabilă ne permit de asemenea să spunem că la momentul $t - \Delta t$ *a fost* într-o stare mai probabilă. Menţinîndu-ne strict în cadrul legilor mecanicii statistice, teoremele de ireversibilitate pot să fie folosite la fel de bine în „retrodicţie" ca şi în „predicţie", după expresiile lui Costa de Beauregard [1]. Există prezentul şi non-prezentul. Legile statistice arată cum trebuie înţeleasă modificarea sistemului atunci cînd se trece de la unul la celălalt, dar nu permit specificarea acestui non-prezent în viitor sau în trecut.

Pînă în punctul acesta ne conduce analiza „clasică" a problemei. Desigur, dacă ne preocupă filozofia timpului fizic, aceste rezultate nu pot fi considerate satisfăcătoare. Or, este un fapt cunoscut că fizica, epistemologia şi filozofia naturii s-au preocupat încontinuu de această problemă începînd din secolul trecut şi se poate observa o creştere a interesului în ultimii ani, atestată în Franţa de cercetările pătrunzătoare ale lui Costa de Beauregard.

---

[1] Vezi, de exemplu, H. WEYL, *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, Princeton, 1949, p. 203.

Aşa cum era de aşteptat, nu s-a stabilit nici pe departe un acord între toţi autorii contemporani care s-au interesat de această aporie, nici măcar în ceea ce priveşte esenţialul. Toţi par să admită totuşi, explicit sau implicit, un anumit număr de concluzii parţiale, pe care este bine să le punem în evidenţă.

a. Mai întîi, nu există o rezolvare a enigmei care să poată fi cuprinsă numai în cadrul axiomelor mecanicii statistice. Costa de Beauregard crede că trebuie adăugat un principiu de interdicţie care să intervină efectiv pentru a împiedica folosirea legilor statistice în ,,retrodicţie'' şi că acest principiu este extrinsec. Rosenfeld apreciază că ,,problema sensului timpului se pune la un nivel epistemologic mai profund decît nivelul statistic la care ea este examinată de obicei [1]''.

b. Din trecerea de la fizica clasică la fizica relativistă, apoi la fizica cuantică, a rezultat desigur o schimbare a perspectivei asupra problemei ireversibilităţii, dar nu şi o transformare esenţială a datelor sale: reversibilitatea legilor elementare rămîne un fapt recunoscut, iar sensul celui de-al doilea principiu a fost lărgit şi poate aprofundat, însă nu alterat. Valoarea sa rămîne încă necontestată.

c. Costa de Beauregard a demonstrat că există o unitate esenţială a tuturor principiilor de ireversibilitate care apar în fizică, mai ales între cel de-al doilea principiu şi acea regulă generală de interdicţie prin care fizicianul se străduieşte să nu ia în consideraţie decît acţiunile retardate (cele în care efectul succede cauzei), excluzînd acţiunile avansate, echivalente din punct de vedere matematic. Această regulă este aplicată în special în teoria electromagnetismului, unde soluţiile în care intervin potenţiale avansate sînt eliminate. Mai mult, după Costa de Beauregard, dacă în fenomenele de radiaţie se iau în consideraţie condiţiile cuantice, atunci relaţia dintre ireversibilitatea termodinamică şi ireversibilitatea cauzală devine evidentă. După cîte ştim, argumentaţia sa nu a fost contestată [2].

Aici încep adevăratele divergenţe. Simplificînd mult, se poate spune că, în discuţiile lor în legătură cu aporia ireversibilităţii, autorii contemporani se simt solicitaţi în două direcţii diferite, între care sau aleg, sau refuză să aleagă, după caz.

---

[1] *Discussion de la Communication de T. Gold au XIe Conseil de Physique Solvay*, în *La Structure et l'évolution...*, p. 92.

[2] Amintim totuşi că au existat cîteva rezerve din partea lui Rosenfeld: *Colloque de Philosophie de la Physique*, Paris, 1961; discuţie între L. Brillouin şi L. Rosenfeld, Rev. Mét. et de Morale, *2*, 1962, p. 247.

Pe de o parte, originea și eventual soluția enigmei poate fi căutată în condițiile inserării gîndirii cognitive și active a omului în Universul fizic. Enigma ar fi deci, în principiul său, *epistemologică*. Aceasta este calea pe care se angajează hotărît Rosenfeld, în deplin acord cu adeziunea sa la tezele școlii de la Copenhaga. În pasajul pe care l-am citat, se poate citi : „Pentru a da o semnificație definiției sensului timpului, se pare că ar fi necesar să ne reîntoarcem la procesul observației, luat sub aspectul său cel mai primitiv : pentru a fi în măsură să enunțăm ceva, în legătură cu un obiect oarecare — nu numai în legătură cu sistemele complexe, ci și cu sistemele atomice individuale — trebuie să primim un semnal oarecare de la acest obiect, iar transmiterea unui astfel de semnal (de exemplu un foton) de la obiect la observator definește sensul timpului..."

Tot spre o concepție epistemologică se orientează și Costa de Beauregard, cel puțin atunci cînd încearcă să pună în evidență analogia dintre principiile fizice de ireversibilitate și principiul lui Bayes din teoria clasică a probabilităților, în virtutea căruia folosirea calculului probabilităților în „retrodicție", — în cercetarea cauzelor — presupune folosirea unor ipoteze speciale, care nu sînt necesare în „predicție". De asemenea, atunci cînd același autor, într-un mod mai puțin convingător, dar pitoresc, evocă posibilitatea unei „lecturi cursive" a spațiu-timp-ului, prin care, eliberîndu-se parțial și momentan de regulile obișnuite ale cunoașterii, gîndirea ar putea să zboare peste timp, să facă un salt în viitor, ca un cititor grăbit sau neglijent care citește la întîmplare cîteva pagini dintr-o carte, ici și colo.

Dar dacă teoreticienii contemporani ai ireversibilității sînt solicitați de o concepție *epistemologică*, ei sînt solicitați în aceeași măsură și de o concepție *cosmologică*. Incapacitatea finală a raționamentelor statistice de a justifica săgeata timpului ar rezulta atunci din abstractizarea pe care ele se bazează. Într-adevăr, numai prin abstractizare se poate vorbi de un sistem izolat, sau chiar pur și simplu determinat. Dacă orice sistem este privit în contextul schimburilor sale cu totalitatea cosmică, cu Universul în sensul concret de ansamblu al existențelor fizice, atunci ireversibilitatea rezultă din faptul că Universul, în acest sens, scapă operației de abstractizare și nu poate fi considerat cu adevărat ca un „sistem".

Această referire finală la totalitatea cosmică, înțeleasă în sens concret, se află la orizontul oricărei meditații „obiective" sau realiste asupra devenirii. Ea formează în același timp baza argumentelor prin care se contestă posibilitatea unei reduceri

epistemologice a ireversibilităţii. Căci o astfel de reducere, fie că situează ireversibilitatea în schema stimul-răspuns, fie că se referă la norme, anticipări sau reguli de selecţie care permit ca lumea să fie gîndită sau să se acţioneze asupra ei, postulează întotdeauna o anumită autenticitate ontologică a modelelor abstracte pe care gîndirea le decupează din real pentru a se servi apoi de ele ca de o reţea. Dar dacă devenirea este într-adevăr cosmică, este puţin probabil ca aceste procedee să permită cuprinderea existenţei fizice în toată bogăţia sa. Un argument de acest fel se afirmă cu claritate în critica pe care o face Whitrow unui eseu al lui Penrose şi Percival. Aceşti autori construiesc o teorie a asimetriei temporale bazată pe o definiţie propusă de Costa de Beauregard : dacă un sistem izolat reacţionează la timpul t_0 cu mediul care îl înconjură sau cu un alt sistem, efectul interacţiunii va fi simţit *după* t_0, nu *înainte*, aceasta reprezentînd, natural, o *definiţie* a noţiunilor de înainte şi după. Whitrow aduce obiecţia că existenţa unei direcţii a timpului depinde în cazul acesta de un postulat cosmologic : există regiuni spaţio-temporale separate în întregime. Metoda este însă inaplicabilă dacă în Univers nu există evenimente cu adevărat independente — căci atunci nu se poate defini momentul în care *începe* interacţiunea — şi nu avem motive pentru a presupune existenţa unor astfel de evenimente.

Nu se poate contesta deci că problema ireversibilităţii are prelungiri şi rădăcini cosmologice, aşa cum o recunosc mai mult sau mai puţin explicit diverşi autori. Astfel, de exemplu, este Reichenbach, care înlătură deliberat orice abordare „subiectivă" a problemei. La fel Costa de Beauregard, la care interdicţiile epistemologice par să aibă pînă la urmă o origine cosmologică.

Totuşi legăturile dintre cercetările privind ireversibilitatea fizică, pe de o parte, şi cosmologia structurală şi cosmogonie, pe de alta, au rămas pînă în prezent destul de imperfecte. Spre exemplu, nu putem decît să-l aprobăm pe Costa de Beauregard atunci cînd presupune, ca şi Gold, că „faptul că legea cosmologică a înroşirii fotonilor de origine îndepărtată are tocmai semnul care o face să fie în acord cu legea disipării energiei, nu este probabil întîmplător [1]".

Dar în loc ca din această remarcă să tragă consecinţa care părea să se impună — anume că semnificaţia cosmologică a ireversibilităţii nu va putea fi cu adevărat clarificată decît atunci cînd

---

[1] *Symétrie microscopique et dissymétrie macroscopique entre avenir et passé*, Revue de synthèse, 1957, p. 21. În legătură cu această potrivire a celor două definiţii ale sensului timpului, vezi mai jos, p. 301.

fenomenologia evoluţiei cosmice va putea fi înţeleasă mai profund, în relaţiile sale cu teoriile fizice diferenţiale şi cu experienţa locală (dacă acest lucru este posibil), Costa de Beauregard deduce propoziţii a căror generalitate este atît de mare încît riscă să-şi piardă orice semnificaţie precisă şi să dea naştere la neînţelegeri. Astfel, atunci cînd spune, spre exemplu, că expresia matematică a devenirii universale trebuie să fie „. . . o condiţie la limită pentru ecuaţia de undă a sistemului universal" [1], nu se poate stabili nici un raport direct între programul definit în felul acesta pentru cosmologie şi practica efectivă a acestei ştiinţe, care nu ştie care ar putea fi ecuaţia de undă a sistemului universal şi care întîmpină dificultăţi în fixarea condiţiilor la limită pentru singura ecuaţie cosmică pe care o cunoaşte, ecuaţia lui Friedman, dealtfel perfect reversibilă în raport cu timpul. . .

Cît despre Reichenbach, acesta a realizat, în cartea sa postumă despre timp [2], paradoxul de a propune o soluţie cosmologică precisă a problemei ireversibilităţii fizice, fără a face măcar o singură aluzie nu numai la teoriile cosmologice contemporane, dar nici chiar la deplasarea spre roşu a nebuloaselor. . .

Această surprinzătoare lacună într-o lucrare care conţine, pe de altă parte, atîtea idei ingenioase şi profunde, va contribui la înţelegerea intenţiei cu care au fost scrise paginile care vor urma : aceea de a confrunta datele problemei ireversibilităţii cu cîteva din rezultatele cele mai frapante ale cosmologiei empirice şi teoretice a acestui secol.

B. Patru întrebări asupra devenirii cosmice

Pentru claritatea expunerii, vom presupune că se admite ipoteza timpului cosmic [3] şi vom pune astronomiei patru întrebări asupra devenirii Universului, întrebîndu-ne, în acelaşi timp, dacă ea ne poate răspunde de fapt şi de drept.

I. Se află Universul într-o evoluţie globală, sau nu?

II. Presupunînd că răspunsul la această primă întrebare este afirmativ, definesc oare diferitele procese care se desfăşoară în prezent, într-un mod lipsit de echivoc, un sens al evoluţiei cosmice?

---

[1] *Ibid.*

[2] *The Direction of Time*, publicată de Maria Reichenbach, Berkeley, 1956.

[3] Înţelegem prin aceasta, natural, ipoteza pur geometrică pe care cosmologia structurală o desemnează în mod obişnuit sub acest nume.

III. Dacă cea de-a doua întrebare comportă un răspuns afirmativ, adică dacă există un viitor şi un trecut nu numai din punctul de vedere al fiecărui om şi al Omului, ci şi relativ la ansamblul realităţii fizice, atunci permite oare inducţia, care merge de la prezent spre viitor, să se definească o stare finală a Cosmosului, un sfîrşit al timpurilor care ar înlătura distincţia dintre viitorul şi trecutul cosmic? sau trebuie oare conceput un viitor infinit, în care distincţia dintre viitor şi trecut să-şi păstreze întotdeauna sensul?

IV. În aceleaşi condiţii care dau un sens celei de-a treia întrebări, se poate oare conduce inducţia spre trecut pînă la o „stare iniţială" a evoluţiei cosmice, şi ce semnificaţie ar trebui să i se atribuie acestui concept de „stare iniţială"?

I. Prima întrebare este evident de natură fizică. Dificultatea constă în a decide dacă transformările locale care se pot observa dovedesc o stare cosmică de dezechilibru sau dacă efectele lor se anulează reciproc la o scară suficient de mare. Într-adevăr, noţiunea de echilibru, aşa cum o foloseşte de obicei fizica, implică nu absenţa transformării, ci persistenţa globală indefinită, în interiorul unui sistem dat, a anumitor valori medii ale variabilelor, datorită compensării statistice a fenomenelor elementare care se desfăşoară într-un anumit sens de către cele care se desfăşoară în sens contrar. De exemplu, echilibrul unei coloane de gaz închis într-un cilindru avînd axa orientată vertical nu înseamnă că moleculele sînt imobile, ci că mişcările ascendente care se produc sînt încontinuu compensate de mişcările descendente, astfel încît proporţia de molecule care se găsesc la diferite altitudini este în medie constantă şi în conformitate cu legea barometrică. Atunci cînd se vorbeşte de echilibrul chimic al unui amestec de două substanţe susceptibile de a forma un compus, se poate înţelege fie că ele rămîn indefinit una în prezenţa celeilalte fără a se combina, în lipsa unor condiţii favorabile (cum este cazul oxigenului şi azotului din aer), fie că se produc fără încetare combinări şi disocieri, în aşa fel încît se menţine în mod constant o proporţie definită între compus şi părţile componente.

S-ar putea deci ca transformările cosmice la care asistăm şi pe care sîntem tentaţi să le considerăm ca semnul unei stări nestaţionare a Universului să fie compensate, poate, la o scară mai mare, de transformări în sens contrar, care ar scăpa încă observaţiei noastre. Această ipoteză nu poate fi respinsă categoric — ca dealtfel nici o ipoteză care se sprijină pe necunoscut — dar nu este deloc încurajată de cunoştinţele dobîndite pînă acum.

Nu există nici o îndoială că lumea fizică este, în vecinătatea noastră imediată, nestaţionară. Astfel, orologiul cosmic prin excelenţă care este rotaţia diurnă a Pămîntului, se încetineşte şi din această cauză ziua siderală nu satisface în mod riguros condiţiile cerute pentru o unitate de timp. Fenomenele cu aparenţă ciclică sau cvasiciclică pe care le observăm sau le putem deduce la suprafaţa Pămîntului, succesiunea anotimpurilor, evaporarea şi condensarea apei, ciclurile legate de viaţă, chiar şi înălţarea şi eroziunea munţilor, nu-şi datorează în general caracterul staţionar decît stabilităţii Soarelui, constanţei masei sale şi a debitului său de energie radiantă. Dar, din punctul de vedere al Soarelui, această constanţă se sprijină tocmai pe o stare de dezechilibru, pe existenţa unei suite ireversibile de transformări, extrem de lentă la scara fenomenelor terestre : Jeans calculează că Soarele răspîndeşte în spaţiu, sub formă de radiaţie, trei sute şaizeci de miliarde de tone pe zi [1]. Masa sa este însă atît de mare, încît acest debit poate să urmeze într-un regim permanent timp de miliarde de ani, aşa încît să întreţină, mult dincolo de scara umană, ciclul ploii şi pe cel al timpului frumos.

Radiaţia Soarelui îşi are originea — şi aceasta este o certitudine cîştigată de douăzeci şi cinci de ani — în reacţiile termonucleare care sînt însoţite de o pierdere de masă local ireversibilă. Or, dacă luată în sine ca fenomen individual, evoluţia Soarelui este extrem de localizată, ea reprezintă în acelaşi timp un eşantion oarecare al unui tip de transformare reprodusă în Univers în miliarde de exemplare. Într-adevăr, nu există nici o îndoială că Soarele este o stea de un tip extrem de răspîndit, nu numai în Galaxie, ci şi în toate galaxiile cunoscute : liniile de absorbţie H şi K din spectrul solar sînt vizibile în spectrele stelelor cele mai îndepărtate, indicînd viteza lor de recesiune. Desigur, nu toate stelele sînt asemănătoare Soarelui, iar materia cosmică nu este decît parţial condensată în stele. Chiar dacă, însă, radiaţia altor tipuri de stele are ca sursă alte reacţii nucleare, nu există totuşi nici o îndoială că energia astrului nu întrece masa sa. Prin urmare, transformarea materiei (de fapt, a substanţei — *N.T.*) în radiaţie apare ca un proces extrem de general şi de o amploare extraordinară în întreg Universul explorat. Se va spune poate că nici nu s-ar putea altfel : pentru a putea observa obiectele cosmice, trebuie ca ele să radieze şi ca radiaţia emisă să depăşească radiaţia absorbită pe parcurs, deci că observaţia presupune cu necesitate un proces de răspîndire ireversibilă a energiei. Această remarcă trebuie reţinută desigur

---

[1] J. JEANS, *L'Univers*, trad. Cros, Payot, Paris, 1930, p. 264.

ca o indicaţie în favoarea tezei după care ireversibilitatea fizică este legată de relaţia dintre obiect şi observator; ea nu este incompatibilă cu afirmaţia că lumea, aşa cum ne este dată, nu este într-o stare staţionară.

În orice caz, pentru ca procesul gigantic de dematerializare a stelelor să fie compatibil la o scară oarecare cu o stare de echilibru, ar trebui ca el să fie compensat la aceeaşi scară printr-un proces invers de condensare a radiaţiei în masă. Nu există însă nici o indicaţie că această condensare ar putea avea loc într-o măsură suficientă, în vreo regiune oarecare a Universului. Într-adevăr, nu se cunoaşte nici un loc în care să fie întrunite condiţiile fizice excepţionale necesare pentru ca materializarea radiaţiei să se efectueze în proporţii neinfinitezimale. Printre altele, pentru aceasta ar fi necesare temperaturi enorme [1].

Desigur, se pot face presupuneri — şi s-au făcut, dar nici observaţia, nici calculul nu le sînt prea favorabile. Situîndu-se pe o poziţie pur „fenomenologică", adică fără a face vreo ipoteză asupra proceselor care realizează efectiv transformarea, Tolman aplică ecuaţia lui Einstein cu privire la echivalenţa masei şi energiei şi legile generale ale termodinamicii la problema echilibrului dintre materie şi radiaţie (energie constantă, entropie constantă) [2]. El găseşte că exceptînd cazul temperaturilor extrem de ridicate, concentraţia masei la echilibru ar trebui să fie extrem de mică, mult mai mică decît concentraţia observată efectiv. Chiar la temperatura fantastică de un miliard de grade [3], concentraţia masei la echilibru nu ar fi decît de $6{,}06 \cdot 10^{-4663}$ molecule/cm³. Deci, la orice temperatură de ordinul celor atinse în mod sigur în Univers, echilibrul ar implica faptul că materia nu mai există şi că radiaţia este singura formă de existenţă fizică.

Or, una din trăsăturile remarcabile ale Universului cunoscut este tocmai raritatea energiei radiante în raport cu energia condensată în masă (este tocmai ceea ce face ca pentru om să fie atît de preţioasă tehnica nucleară, care îi permite să scoată puţin din imensul rezervor de energie condensată în materie). Va trebui să revenim asupra calculului lui Tolman, a cărui exactitudine nu este contestată, dar căruia, aşa cum spune chiar Tolman, nu tre-

---

[1] După Jeans, generarea unui singur proton pornind de la radiaţie necesită o cantitate de energie de 0,0015 ergi, ceea ce corespunde unei temperaturi mai mari de o sută de miliarde de grade.

[2] *Relativity, Thermodynamics...*, *op. cit.*, p. 149.

[3] Temperatura din interiorul Soarelui este estimată la 20 de milioane de grade. Temperaturi de ordinul miliardelor de grade nu se pot manifesta probabil decît în anumite faze excepţionale ale existenţei unor stele.

buie să i se exagereze importanța, avînd în vedere generalitatea ipotezelor pe care se sprijină. Dar se poate spune cel puțin că el încurajează mult ipoteza după care, global ca și local, Universul se găsește într-o stare de dezechilibru.

Sînt încă multe alte indicii care susțin această ipoteză. Se va vedea mai tîrziu că confruntarea condițiilor de echilibru cu privire la transmutațiile nucleare cu abundențele cunoscute ale diferitelor specii atomice nu este deloc satisfăcătoare. Pentru a ne mărgini la un caz particular, tratat de Tolman din același punct de vedere „fenomenologic" ca și problema precedentă — cazul proporțiilor relative, la echilibru în Universul real, dintre hidrogen și heliu — calculul arată că în Univers există un exces foarte mare de hidrogen în raport cu condițiile de echilibru, ceea ce implică faptul că cvasitotalitatea hidrogenului trebuie să fie transformată în heliu [1].

În sfîrșit, observarea deplasării spre roșu a radiației nebuloaselor, interpretarea acestui efect în cosmologia relativistă, contribuie, fără îndoială decisiv, la înlăturarea ideii de echilibru din reprezentarea Universului. Simpla încercare de a da o soluție generală problemei cosmologice în cadrul teoriei relativității l-a condus pe Friedman la noțiunea unui Univers cu structură metrică variabilă în timp, iar decalajul spectral al galaxiilor s-a impus ca un fapt universal. Acordul dintre fapte și teorie este atît de perfect în acest caz, încît nu rămîne nici o posibilitate de a se evita concluzia dezechilibrului cosmic. Admitem legitimitatea unei cosmologii structurale bazată pe teoria relativității generalizate? În acest caz nu avem nici un motiv serios să alegem, ca reprezentare a Universului, singurul model cu adevărat static acceptat de această teorie și al cărui echilibru nu poate fi decît instabil. Vrem să păstrăm imaginea clasică a Universului, euclidian și newtonian, cu toate dificultățile pe care le comportă? [2] În acest caz trebuie să explicăm deplasarea spre roșu a galaxiilor; presupunînd că o astfel de explicație ar fi posibilă, ceea ce este foarte îndoielnic, ea nu va putea schimba cu nimic faptul că acest fenomen este mărturia unui *proces* de uzură a energiei, pentru care nu se poate observa și nici concepe vreo compensare.

Oricît de simplă ar fi toată această argumentație, concluzia care rezultă, și anume că Universul, în momentul în care îl observăm, nu este în echilibru, ci într-o stare de tranziție, că timpul

---

[1] *Relativity, Thermodynamics..., op. cit.*, p. 140.

[2] Am văzut că o cosmologie de acest fel rămîne posibilă din punct de vedere logic cu condiția de a admite... expansiunea. Vezi Anexa, VIII.

cosmic trece, este refuzată cu încăpăţînare şi din principiu de anumite spirite. Se caută atunci, şi se găsesc, contraargumente, dar caracterul lor artificial şi deseori disparat este destul de frapant.

Iată cîteva exemple : chiar admiţînd expansiunea, adică interpretarea cinematică, structurală sau nu, a decalajului spectral, putem să nu vedem în aceasta decît un fenomen local şi trecător. De treizeci de ani se aşteaptă cel mai mic indiciu în acest sens, dar nu se poate aprecia dinainte ce va descoperi astronomia de mîine. Astfel, Dauvillier, după ce remarcase pe bună dreptate că o ipoteză cosmogonică plauzibilă „nu trebuie să prezinte nici un caracter metafizic'', propune ca Universul să fie considerat „. . .ca format dintr-un gaz poliatomic de metagalaxii, ale cărui molecule ar fi roiurile''. În acest gaz se vor produce fluctuaţii de densitate : „regiunile cu densitate joasă vor suferi o expansiune în timp ce cele în care densitatea medie depăşeşte densitatea critică vor fi în contracţie. În medie, Universul va fi în echilibru, expansiunile şi contracţiile rămînînd locale''. Pe cînd noi, gîndeşte Dauvillier, „făcînd o extrapolare arbitrară, vrem să extindem la întregul Univers o expansiune pe care o constatăm în singurul domeniu infim care ne este accesibil'' [1]. Ne întrebăm totuşi care extrapolare este mai arbitrară : cea care concepe întregul prin analogie cu partea cunoscută (presupunînd uniformitatea pe care orice ştiinţă o postulează pînă la un anumit punct), sau aceea care, fără cea mai mică urmă de dovadă, introduce o ipoteză ad-hoc pentru a satisface un principiu impus aprioric.

Acelaşi autor, pentru care echilibrul este un fel de dogmă, caută în electromagnetismul galactic „mecanismul'' care s-ar opune degradării energiei. Radiaţiile cosmice, accelerate de cîmpurile magnetice ale Galaxiei, ar frîna această degenerare. Absorbţia lor ar da naştere la procese de materializare a energiei şi, în acelaşi timp, ar juca un rol esenţial în „ciclul atomic'', regenerînd hidrogenul plecînd de la nuclee grele. Dar aceste sugestii nu sînt însoţite de o încercare de evaluare cantitativă susceptibilă de a demonstra că „mecanismul'' poate produce efecte rezonabile în comparaţie cu consumul enorm de masă şi de hidrogen care are loc în stele. De asemenea, atunci cînd acest autor afirmă că în Univers „materializările şi dematerializările sînt în echilibru statistic datorită jocului combinat al temperaturilor înalte şi al electromagnetismului'' el nu face decît să exprime o credinţă care îl face dealtfel să apeleze la fenomene fundamentale, dar necunoscute

[1] A. DAUVILLIER, *Cosmologie et Chimie*, P.U.F., Paris, 1955, p. 199.

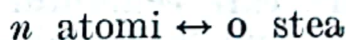
„... a căror cunoaştere va elucida fără îndoială mecanismul echilibrului"[1].

Aceeaşi prejudecată de a concepe Universul exclusiv în forma echilibrului se regăseşte la F. Zwicky[2]. Dar motivele invocate de acesta nu sînt aceleaşi, fără a da totuşi impresia că ar fi mult mai solid fundamentate. Zwicky poate să pună în valoare un anumit număr de fapte de observaţie în favoarea ipotezei echilibrului. El găseşte de exemplu în concentraţia maselor în Univers o regularitate în conformitate cu prevederile acestui postulat. Pentru el, ca şi pentru Lemaître, repartizarea galaxiilor în roiuri ar dovedi că aceste roiuri sînt în echilibru dinamic şi această opinie a fost confirmată de Oort cel puţin pentru regiunile centrale ale anumitor roiuri mari. Dar alţi autori, în special Ambarţumian, contestă că această afirmaţie ar putea fi valabilă în general pentru toate roiurile.

Zwicky se opune raţionamentului lui Stern — care este analog cu cercetările lui Tolman despre care am vorbit — asupra absenţei unui echilibru termodinamic între materie şi radiaţie, considerînd pe bună dreptate că izolarea echilibrelor particulare: radiaţie ↔ materie şi hidrogen ↔ heliu este artificială, şi că ar trebui luată în consideraţie totalitatea lanţului:

Radiaţie ↔ protoni-electroni ↔ nuclee grele ↔ pulberi de toate dimensiunile ↔ nebuloase gazoase ↔ stele ↔ roiuri de stele.

Aplicînd formula generală a echilibrului în reacţiile chimice pentru transformarea:



$$n \text{ atomi} \leftrightarrow \text{o stea}$$

(unde $n = 2{,}1 \times 10^{55}$, valoarea empirică pentru Soare), Zwicky găseşte, în conformitate cu observaţia, o concentraţie slabă a atomilor liberi faţă de atomii stelari. Şi, examinînd dubla transformare: n atomi ↔ n_2 particule de pulbere ↔ o stea, el arată că cea de-a doua reacţie reduce enorm concentraţia pulberii care, după prima reacţie, ar fi destul de mare pentru temperaturi sub o mie °K.

Totuşi, nu ni se pare că acestea sînt suficiente pentru a respinge argumentul lui Tolman. Pentru aceasta, ar trebui arătat, ceea ce Zwicky nu face, că transformările lanţului — cel puţin unele dintre ele — pot absorbi o parte apreciabilă din enormul exces de radiaţie prevăzut de calculul lui Tolman.

---

[1] A. DAUVILLIER, *Cosmologie et Chimie*, *op. cit.*, pp. 211–221.

[2] F. ZWICKY, *L'Astronomie et la marche dans l'Univers*, L'Astronomie, 76, 1962, pp. 55–65.

O altă obiecţie adusă de Zwicky este că în calculul lui Stern şi în cel al lui Tolman energia radiaţiei este considerată ca energie potenţială negativă, contrar tratării obişnuite care, asimilînd energia radiaţiei energiei cinetice, o identifică cu o energie potenţială pozitivă.

Toate aceste remarci îşi au desigur valoarea lor, dar, faţă de datele de observaţie categorice — decalajul spectral al galaxiilor, excesul de materie, excesul de hidrogen, dispersia cvasiuniversală a radiaţiei — ele nu par să atîrne prea greu. Pe de altă parte, cum se face că partizanii Universului în echilibru invocă argumente atît de disparate, a căror subtilitate contrastează dealtfel cu simplicitatea faptelor pe care se sprijină presupunerea dezechilibrului? Totuşi, aceste fapte nu-şi capătă înţelesul deplin decît în cadrul examinării celei de-a doua întrebări pe care am pus-o şi pe care o repetăm:

II. Este sensul evoluţiei cosmice fixat fără echivoc? Comparînd marile procese cosmice care atestă realitatea unei deveniri observate sau deduse, se poate afirma, fără putinţă de tăgadă, că ele decurg „în acelaşi sens"?

Trebuie să notăm mai întîi că această întrebare nu este, evident, de aceeaşi natură cu precedenta. Este ea, ca şi prima, o întrebare fizică, care ia naştere din observarea proprietăţilor empirice ale Universului? Sau este, dimpotrivă, de natură logică şi pentru a i se răspunde afirmativ este suficientă examinarea atentă a înseşi datelor problemei ireversibilităţii? Cel de-al doilea răspuns ar fi tentant, deoarece cosmologia structurală se lipseşte cu greu, aşa cum am văzut, de ipoteza timpului cosmic. Noi nu putem gîndi timpul decît ca pe o dimensiune orientată în mod natural şi de aici pare să rezulte imediat că un timp unic nu poate avea decît o orientare unică. Or, orientarea timpului nu poate fi decît cea a evenimentelor care se produc în timp, de unde pare să rezulte că orientarea evenimentelor nu poate fi decît unică. Dintr-o astfel de argumentaţie, Gold obţine, aşa cum se va vedea, o soluţie radicală şi extrem de simplă a problemei ireversibilităţii.

Dar aici ar trebui poate să fim categoric anticartezieni şi să ne îndoim cu atît mai mult de evidenţe cu cît ele sînt mai simple, şi să ne amintim de asemenea de ciudatul cosmonaut al lui Gödel care revine în propriul său trecut fără a schimba vreodată sensul timpului. În sfîrşit, atitudinea noastră în această problemă va fi de a face ca empiricul să treacă înaintea dialecticului. Adică, ceea ce ne spune, în privinţa sensului unic al proceselor cosmice,

observaţia directă a Universului şi experienţa locală condensată în legile termodinamicii, sau, în esenţă,

a) că cel de-al doilea principiu al termodinamicii defineşte în mod univoc sensul privilegiat al tuturor proceselor care au loc în sisteme în care pot fi definite variabilele termodinamice, în special entropia şi energia;

b) că decalajul spectral al galaxiilor defineşte direct un sens al evoluţiei cosmice;

c) că în măsura în care acest efect de recesiune este comparabil cu procese locale interpretabile din punct de vedere termodinamic (în special cu efectul Doppler obişnuit), identificarea celor două săgeţi se poate face fără a da naştere la dificultăţi sau paradoxuri.

În favoarea punctului *a* se poate menţiona în primul rînd autoritatea excepţională pe care i-o conferă celui de-al doilea principiu al termodinamicii un secol de nenumărate servicii experimentale şi teoretice, aptitudinea sa de a suporta generalizările cele mai largi, rezistenţa sa remarcabilă la toate corecţiile aduse în acest secol axiomelor fizicii teoretice. După cîte ştim, racordarea transformărilor locale cu transformările mai extinse nu a întîmpinat niciodată dificultăţi în această privinţă. Acesta este un lucru cu atît mai demn de remarcat dacă ne gîndim cît de restrînsă era baza experimentală pe care s-a început, odată cu Carnot, edificarea celui de-al doilea principiu. Conceptul de entropie a suportat generalizarea la fel de bine ca şi cel de energie şi este imposibil să se dea prioritate unuia dintre cele două principii ale energeticii în ceea ce priveşte aptitudinea lor de a interpreta faptele experimentale cele mai diverse. Acest succes este suficient pentru a dovedi că toate transformările locale cunoscute ale materiei-energiei pot fi raportate la o orientare fundamentală. Oricum ar evolua un sistem particular, există întotdeauna un sistem care îl înglobează şi a cărui evoluţie se petrece urmînd sensul termodinamic.

Punctul *b* este aproape evident, dacă renunţăm să considerăm din principiu, împotriva tuturor aparenţelor observate pînă acum, că deplasarea spre roşu nu este decît un fenomen local. Aşa cum o indică pe scurt numele său englezesc (*red-shift*), acest fenomen este orientat — liniile spectrale se deplasează spre roşu. Ele „ar putea" să se deplaseze (sensul acestui condiţional rămîne de precizat dealtfel) spre albastru. Aceasta dă aparenţa unei expansiuni a spaţiului. „S-ar putea" observa aparenţele unei contracţii.

Ajungem în felul acesta la punctul *c*: există un sens al expansiunii; există un sens termodinamic; este „acelaşi"? Există

vreun mijloc de a face să corespundă în mod concret sensul decalajului spectral cu cel al unui sistem care evoluează în sens termodinamic? Fără îndoială, referindu-ne la ansamblul relaţiilor dintre energie, entropie şi frecvenţa radiaţiei corpului negru, energia radiaţiei corpului negru, închisă într-un volum dat, este proporţională cu puterea a patra a temperaturii, iar entropia sa cu puterea a treia. Raportul energie-entropie este proporţional cu temperatura. Pentru o valoare dată a energiei, entropia este deci o funcţie descrescătoare de temperatură. Descreşterea temperaturii, deci creşterea entropiei, este însă însoţită de un decalaj spre roşu al ansamblului spectrului. Există astfel o corespondenţă directă între sensul temporal indicat de creşterea entropiei — sensul termodinamic — şi decalajul spectral observat al galaxiilor.

Această coincidenţă este deosebit de frapantă. Degradarea energetică care însoţeşte fenomenele terestre este cunoscută calitativ de multă vreme. Deplasarea spre roşu este un fenomen descoperit recent, care nu se evidenţiază decît la o scară gigantică. Este vorba de o coincidenţă, sau de o adevărată identitate? Creatorii teoriei stării staţionare înclină spre acest al doilea răspuns în reflecţiile lor asupra paradoxului lui Olbers. Acest răspuns este expus şi justificat aprioric, fără nici un fel de aparat formal, într-o comunicare a lui Gold susţinută la cel de-al XI-lea Congres de fizică Solvay, comunicare asupra căreia ne vom opri acum [1].

Gold pleacă de la constatarea că toate legile fizice fundamentale cunoscute sînt simetrice în raport cu timpul şi că ceea ce orientează un sistem fizic oarecare în raport cu timpul este interacţiunea sa cu un sistem mai mare. Într-adevăr, evoluţia unui sistem izolat nu poate păstra o orientare definită decît în decursul unui anumit interval finit — care poate fi foarte mare — după momentul în care a încetat orice influenţă a lumii exterioare asupra lui. Pentru Gold, exemplul cel mai tipic al unei astfel de interacţii cu lumea exterioară este procesul prin care un sistem oarecare răspîndeşte radiaţie în spaţiu din momentul în care încetează să mai fie complet închis. Pentru ca „săgeata timpului" să se înscrie în Univers, trebuie deci ca Universul să poată absorbi orice radiaţie care scapă din oricare din sistemele pe care le conţine. După teoria stării staţionare, tocmai expansiunea este cea care asigură această absorbţie universală, în aşa fel încît, pentru Gold, există o corespondenţă directă între dispersarea

---

[1] T. GOLD, *The Arrow of Time*, în *La Structure et l'Évolution...*, *op. cit.*, pp. 81–91.

radiației, observată la orice scară, și expansiunea galaxiilor, care este un fenomen cosmic :

„O înțelegere a Universului mai profundă decît cea de care dispunem acum ar putea să ne permită să deducem expansiunea acestuia numai din observarea unor efecte la scară mică” [1].

În aceste condiții este exclus să poată exista *două sensuri* de evoluție posibile pentru Univers — expansiunea și contracția — și ca natura să fi ales unul dintre ele. Într-adevăr, numai expansiunea indică sensul timpului. Pentru ca să se poată concepe o mișcare de contracție care s-ar produce parcurgînd timpul în „același” sens, ar trebui ca acest sens să fie definit prin alte caracteristici ale Universului sau prin alte legi fizice, independent de expansiune. Or, așa ceva nu se cunoaște pînă acum. Se poate spune deci că, prin definiție, expansiunea are loc în sensul trecut-viitor și contracția în sensul viitor-trecut, și că legile fizice simetrice nu pot descrie un Univers în curs de contracție, în care sensul pozitiv al timpului ar continua să fie definit local cu ajutorul celui de-al doilea principiu.

Astfel, mergînd puțin mai departe de ceea ce spune în mod explicit Gold, analiza sa pare să conducă la următoarea concluzie : enigma ireversibilității are o rezolvare cosmologică; săgeata timpului nu este trasată nici de legile elementare, nici de combinarea statistică a elementelor, ci de un fenomen cosmic unic care îmbracă toate procesele parțiale și care este fără îndoială de o cu totul altă natură decît evoluția termodinamică a unui sistem izolat.

Gold recunoaște că argumentația sa se bazează pe perfecta simetrie a legilor, dar consideră că această simetrie este neîndoielnică pînă în prezent. El se alătură, în particular, părerii lui Wheeler și Feynman că în teoria electromagnetismului soluțiile date de potențialele retardate și cele care corespund potențialelor avansate pot fi considerate perfect echivalente. După acești autori, această echivalență nu are loc totuși într-un Univers în care întreaga radiație este pînă la urmă absorbită. Într-un astfel de caz acționează efectiv numai potențialele retardate : este tocmai ceea ce arată experiența în Universul nostru [2]. După Gold, motivul este că expansiunea asigură absorbția radiației. Dar nimic nu dovedește că într-o zi nu se vor dezvălui niște legi asimetrice. La întrebarea lui Oppenheimer, ce ar rezulta pentru cosmogonie din

---

[1] T. GOLD, *op. cit.*, p. 87.

[2] *Classical Electrodynamics In Terms of Direct Inter-Particle Actions*, Rev. Mod. Phys., 21, *3*, 1949, p. 425.

neinvarianţa în raport cu inversiunea timpului în interacţiunile slabe din fizica atomică, Gold a răspuns că aceasta ar distruge valoarea argumentaţiei sale şi că atunci ar trebui admisă posibilitatea a două mişcări de ansamblu pentru Univers, dintre care numai una s-ar realiza în fapt.

În aşteptarea unei descoperiri de acest fel, cercetările recente ale lui Hogarth [1] şi ale lui Narlikar [2] par să sprijine teza lui Gold. Pentru Hogarth (care, în această privinţă, împărtăşeşte o părere cvasiunanimă), faptul că numai cîmpurile retardate trebuie să fie luate în consideraţie într-o descriere verificabilă experimental a efectelor electromagnetice nu ar rezulta din structura fizico-matematică a acestor efecte. El adaugă la teza perfectei simetrii a legilor fizice un argument suplimentar, amintind un rezultat obţinut de Dirac în 1938 : într-o teorie covariantă a cîmpului electromagnetic, pentru a obţine formula empirică a radiaţiei de amortizare, este necesar să se facă în aşa fel încît să intervină în acelaşi timp şi cîmpurile avansate şi cele retardate.

După Hogarth, eliminarea empirică a cîmpurilor avansate din cea mai mare parte a efectelor observabile trebuie deci să rezulte din proprietăţile de structură ale spaţiu-timp-ului. Ea are un sens cosmologic, de aceea el îşi conduce astfel discuţia încît să poată pune în evidenţă această relaţie. Folosind şi dezvoltînd teoria absorbanţilor a lui Wheeler şi Feynman, el o aplică în diferite ipoteze cosmologice, limitîndu-se, datorită caracterului ecuaţiilor lui Maxwell, la modele robertsoniene în care spaţiul este euclidian. El constată că într-un model static, în particular în spaţiu-timp-ul lui Minkowski, nu poate apărea nici un avantaj în favoarea cîmpurilor avansate sau a celor retardate.

Este ceea ce stabiliseră deja Wheeler şi Feynman, dar Hogarth consideră că ipotezele cu ajutorul cărora aceşti autori credeau că pot împăca acest rezultat general cu faptele experimentale sînt inoperante. Această împăcare nu poate fi asigurată decît prin alegerea unui model cosmologic adecvat. Or, anumite modele convin foarte bine, altele într-un mod îndoielnic şi altele deloc. După analiza lui Hogarth, structurile care convin cel mai bine sînt cele ale teoriei stării staţionare, cu generare continuă de materie. Modelele în care materia-energia se conservă, în spe-

---

[1] *Cosmological Considerations of the Absorber Theory of Radiation*, Proc. Roy. Soc. London, 267 A, 1962, pp. 365–83.

[2] *Neutrinos and the Arrow of Time in Cosmology*, Proc. Roy. Soc. London, 270 A, 1962, pp. 552–61.

cial modelul Einstein-de Sitter, dau o simetrie îndoielnică sau prost orientată.

Aceste discuţii sînt dificile şi rezultatele sînt oarecum surprinzătoare (cum se poate ca o structură spaţio-temporală, a cărei realitate nu este atestată decît la scară cosmologică, să aibă o incidenţă asupra experienţei locale?). Dacă valoarea lor s-ar confirma, ele ar aduce un argument puternic tezei care atribuie o origine cosmologică ireversibilităţii fizice. În aşteptare, argumentaţia lui Gold pare cam abstractă, căci atîta timp cît potrivirea dintre procesul de dispersare a radiaţiei la scară mică şi cel al expansiunii cosmice nu este demonstrabilă, ci pur şi simplu empirică, este greu de crezut ca dintr-un fapt dat să se poată deduce o imposibilitate logică, aşa cum este, pentru Gold, existenţa unui Univers în contracţie. Discuţia lui Gold are totuşi meritul de a arăta ce proprietăţi extraordinare ar avea, presupunînd că ar putea exista, un Univers în contracţie în care radiaţia tuturor corpurilor s-ar acumula în loc să fie absorbită de mişcarea cosmică. Dealtfel, din punctul de vedere în care ne situăm contează destul de puţin dacă contracţia este imposibilă sau pur şi simplu ireală. Ceea ce pare într-adevăr în afara oricărei îndoieli este că actualmente, în istoria Universului, se defineşte, din aproape în aproape şi fără echivoc, un sens al evoluţiei cosmice şi, în consecinţă, că orientarea timpului nu este un simplu fenomen local, legat de particularităţile subsistemului în care trăim. Cu alte cuvinte, că între expansiune şi ireversibilitatea termodinamică, pe de o parte, şi postulatul timpului cosmic, pe de alta, operează un fel de confirmare reciprocă, al cărei sens va trebui să fie precizat.

Exprimînd această concluzie, admitem că ea poate părea hazardată. La nivelul de abstractizare la care intenţionat se situează Gold, nu are prea mare importanţă modul în care se articulează şi se ordonează cele trei sisteme conceptuale: cel al unei teorii fizice locale, cel al legilor celor mai generale ale termodinamicii şi cel al Universului în expansiune. Dar dacă, fie chiar cu titlu de verificare, privim puţin mai îndeaproape modul în care se face această joncţiune în cazul universurilor de tip Friedman, observăm că identificarea între „săgeata" termodinamică şi cea a expansiunii nu este deloc evidentă. Oricît de dispuşi am fi să acceptăm punctul de vedere al lui Gold, nu putem trece sub tăcere observaţiile la care conduce, în această privinţă, ecuaţia de conservare aplicată unor astfel de modele. Pe de altă parte, dacă ieşim din cadrul robertsonian, ca Gödel şi Schücking, rămînînd totuşi în cadrul relativităţii generalizate, lucrurile nu devin mai clare, aşa cum am văzut în capitolul precedent.

Ecuaţia de conservare într-un Univers Friedman are proprietatea remarcabilă de a corespunde celei care descrie, local, expansiunea sau contracţia *adiabatică* a unui gaz [1].

Într-o transformare de acest tip, gazul nu schimbă căldură cu mediul înconjurător, dar acţionează asupra lui. Or, fiind vorba de un Univers omogen în expansiune, analogia este destul de surprinzătoare, pentru că fiecare element al fluidului nu este înconjurat decît de alte elemente identice cu el şi care participă la aceeaşi transformare. Dacă Universul este finit, totalitatea volumului cosmic ascultă de aceeaşi lege şi nu mai există nici un mediu înconjurător asupra căruia să „lucreze".

Acum treizeci de ani Tolman a arătat că, pornind de la această lege ciudată, se pot trage consecinţele care nu prea sînt în acord cu ipoteza că sensul expansiunii cosmice este chiar cel al timpului.

Mai întîi, o transformare adiabatică poate fi *izentropică* dacă sînt evitate cauzele interne de creştere a entropiei. Acesta este un lucru imposibil pentru orice sistem localizat, datorită condiţiilor de constrîngere exercitate de mediul înconjurător al unui astfel de sistem (de exemplu deplasarea unui piston într-un cilindru sub efectul detentei unui gaz nu poate fi perfect regulată şi continuă). Dar se poate concepe un model de univers suficient de simplu pentru ca toate cauzele interne de ireversibilitate să fie eliminate [2]. În acest caz, expansiunea sau contracţia, fiind izentropică, sensul temporal indicat de expansiune (dacă rămîne vreunul) nu va fi cel al termodinamicii.

Dacă, dimpotrivă, se presupune că expansiunea adiabatică nu este izentropică, ci ireversibilă, aşa cum este cazul de fapt, datorită transformărilor fizice locale suferite de conţinutul material al Universului (reacţii chimice şi nucleare, radiaţie etc.), ecuaţia de conservare implică, în aparenţă paradoxal, că conţinutul energetic al fiecărui element de volum poate creşte indefinit, ceea ce deschide posibilitatea unei creşteri indefinite a entropiei într-o succesiune de oscilaţii ale Universului, cu o amplitudine şi o perioadă din ce în ce mai mari. Într-adevăr, din ecuaţia de conservare într-un Univers Friedman rezultă direct că conţinutul energetic al fiecărui element de volum de fluid scade în timpul expansiunii şi creşte în timpul contracţiei. Dar, după Tolman [3], existenţa unor transformări ireversibile locale trebuie să provoace o anumită întîrziere a presiunii în raport cu condiţiile de echilibru. De aici, la fiecare sfîrşit de ciclu, după expansiune şi recontracţie,

---

[1] Anexa, V, ec. 58.
[2] *Relativity, Thermodynamics...*, *op. cit.*, § 169, p. 425.
[3] *Ibid.*, § 131, p. 329; § 175, p. 441.

apare un cîştig net de materie-energie în fiecare element de volum şi, în consecinţă, au loc o succesiune de oscilaţii din ce în ce mai ample şi din ce în ce mai lungi[1] şi o creştere indefinită a entropiei. Este însă clar că în cazul acesta, în care contracţia urmează expansiunii, sensul timpului nu mai poate fi identificat cu cel al expansiunii.

În schema lui Tolman, reluată de Zanstra [2], alternanţa expansiunilor şi contracţiilor nu ar fi decît pseudoperiodică şi s-ar suprapune unei evoluţii ireversibile a conţinutului material. Totuşi argumentaţia nu este decît parţial convingătoare.

Dar există un aspect în privinţa căruia aceşti autori se dovedesc demonstrativi : în modelele de tip Friedman, inversarea contracţiei în expansiune este asociată în mod necesar cu o singularitate a metricii, cu o discontinuitate a funcţiei $R(t)$, care trebuie în mod necesar să scadă pînă la zero dacă începe contracţia. Într-adevăr, din forma particulară a ecuaţiei de conservare din acest model rezultă că contracţia nu se poate opri pentru o valoare finită a lui $R(t)$. Dacă masa este constantă, ecuaţia lui Friedman interzice ca R să se anuleze ; dacă o parte a masei se transformă în radiaţie, presiunea de radiaţie astfel creată nu este suficientă pentru a opri contracţia : ea este compensată de cîştigul de masă care rezultă din acţiunea sa asupra „mediului înconjurător".

Dar ce poate deveni atunci sensul timpului la trecerea prin discontinuitate? Dacă ne imaginăm două puncte separate temporal de singularitatea punctuală S, care separă ciclurile C_1 şi C_2,

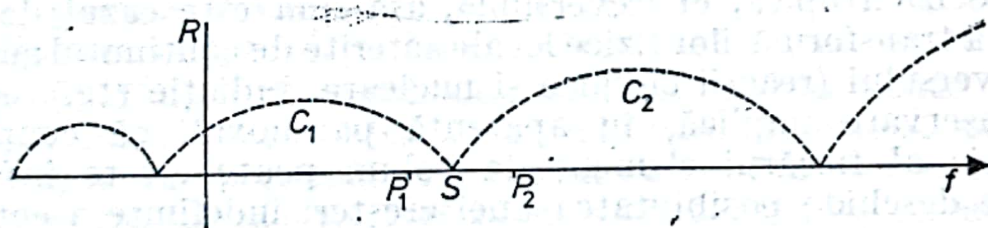


Fig. 1

pe care le notăm cu P_1 şi P_2, care este atunci procesul fizic a cărui continuare subîntinde trecerea de la P_1 la P_2, dînd astfel o semnificaţie concretă orientării timpului între P_1 şi P_2? După Tolman şi Zan-

[1] Într-un model Friedman oscilant, atît perioada cît şi amplitudinea oscilaţiei sînt proporţionale cu cantitatea de masă-energie prezentă în unitatea de volum, sau în întregul Univers dacă acesta este finit. Vezi Anexa, VI, ec. (70, 70′).

[2] H. ZANSTRA, *On the Pulsating or Expanding Universe and Its Thermodynamical Aspects*, Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen, B. 60, 4, 1957, pp. 285–307.

stra, singularitatea geometrică din S trebuie să fie însoţită de o inversare a *tuturor* proceselor fizice şi mai ales de o „regenerare" completă a întregii energii nucleare. Zanstra admite că posibilitatea trecerii prin singularitate trebuie să fie postulată explicit, dar el nu spune cum poate fi fixat, în această ipoteză, sensul timpului între P_1 şi P_2.

Geometria modelelor relativiste în rotaţie sau anizotrope este atît de dificilă încît termodinamica lor pare greu accesibilă. Heckmann s-a mărginit să arate că într-un model în rotaţie inversarea contracţiei în expansiune se poate face fără apariţia singularităţii. Dar el nu a explorat semnificaţia termodinamică a acestei inversări. Este ea compatibilă cu continuarea, în acelaşi sens, a proceselor fizice locale? Poate avea întrebarea un răspuns în absenţa unei tratări relativiste a rotaţiei, pe care Heckmann nu o dă, pentru că modelul său este newtonian? În teoria newtoniană, timpul este dat aprioric independent de devenirea concretă a entităţilor fizice. Întotdeauna este posibil ca acestui timp vid şi absolut să i se atribuie, tot aprioric, un sens dar este aceasta consecinţă acceptabilă pentru o filozofie relativistă a timpului?

Gödel însă arătase, aşa cum am văzut, că rotaţia absolută este incompatibilă, în teoria relativităţii, cu orientare unică a timpului, care să nu fie numai locală şi diferenţială, ci să poată fi definită fără echivoc între două puncte oarecare situate la distanţă finită în spaţiu-timp. După discuţia pe care o face, compatibilitatea între rotaţie şi sensul unic al timpului pare să nu fie asigurată decît în modelele spaţial finite şi în cazul în care rotaţia nu este prea mare.

Avînd în vedere că, din motivele pe care le-am amintit deja, expansiunea pare să indice sensul timpului, am putea să ne întrebăm dacă studiul compunerii rotaţiei cu expansiunea nu ar da o semnificaţie geometrică precisă acestei indicaţii. Discuţia lui Gödel asupra modelelor finite rotitoare în expansiune arată că nu este vorba de aşa ceva : într-adevăr, ceea ce are importanţă, în aceste modele, din punct de vedere al existenţei timpului cosmic orientat, sînt vitezele liniare produse de rotaţie. Dacă aceste viteze rămîn peste tot mai mici decît c, timpul este corect orientat ; dacă ele pot să depăşească această limită, el nu mai este corect orientat. Combinarea expansiunii cu rotaţia se face însă în aşa fel încît limita superioară a vitezelor liniare de rotaţie nu depinde de expansiune : dată fiind valoarea rotaţiei, ea determină o dată pentru totdeauna existenţa sau neexistenţa unei

orientări temporale unice în întregul Univers, expansiunea sau contracţia nu schimbă nimic [1].

Aceste simple observaţii arată cîte legături între geometria spaţiu-timp-lui şi fizica timpului sînt încă departe de a fi definite clar, chiar pentru teoria relativităţii, cu tot principiul general pe care aceasta îl are asupra identităţii esenţiale între legile fizice şi structura geometrică.

Discuţiile lui Tolman şi Zanstra, pe de o parte, şi cele ale lui Gödel, pe de alta, aruncă deci o îndoială asupra argumentaţiei lui Gold, în măsura în care arată că teoria relativităţii generalizate, singura teorie fizică care pentru moment este în măsură să lege concret expansiunea cosmică de legile de evoluţie ale fenomenelor locale, nu face să apară în mod evident faptul că sensul termodinamic sau orientarea geometrică a timpului sînt asociate analitic cu expansiunea.

Totuşi, ele nu exclud posibilitatea de a considera că unicitatea sensului tuturor proceselor orientate, locale sau cosmice, este un *fapt* probabil ale cărui manifestări empirice sînt vizibile. Ne vom opri aici, considerînd că răspunsul la cea de-a doua întrebare a noastră — ca şi la cea dintîi — este destul de bine întemeiat şi suspectînd o oarecare tendenţiozitate sau o oarecare prejudecată în încercările de a evita consecinţele cele mai simple care rezultă din trăsăturile cele mai frapante ale Universului cunoscut. Sarcina de a căuta dovezi revine celor care susţin că Universul este în stare de echilibru. Presupunînd că o vor dovedi, ei ar trebui să explice şi dacă orientarea generală a timpului este sau nu o extrapolare nelegitimă pornind de la o situaţie locală; ar trebui să facă să se înţeleagă eventual originea a ceea ce ar fi în cazul acesta cea mai înrădăcinată şi cea mai universală dintre iluziile umane — aceea că timpul trece...

În schimb, un răspuns rezonabil şi motivat la cea de-a treia şi la cea de-a patra întrebare puse de noi, asupra ipoteticelor „stare finală" şi „stare iniţială" ale Universului ni se pare mult mai dificil de justificat, ba chiar de formulat. Devenirea este întotdeauna interpretată prea facil ca o tranziţie, trecerea între starea iniţială şi starea finală a unuia şi aceluiaşi lucru, care şi-ar realiza astfel potenţele. Gîndirea ştiinţifică modernă este poate mult mai puţin îndepărtată de Aristotel decît se crede, mai puţin îndepărtată de el în această privinţă, în orice caz, decît de Bergson sau de Whitehead. Văzînd Universul în mişcare, este atît de natural să ni-l imaginăm în drumul dintre începutul şi sfîrşitul

---

[1] *Rotating Universes..., mem. cit.*, p. 179.

său, încît fiecare, după preferinţele sau credinţele sale, sau se grăbeşte să găsească aici confirmarea anumitor dogme şi adeverirea anumitor mituri, sau, dimpotrivă, se teme atît de mult de această concluzie, încît mai curînd încearcă să se convingă că devenirea cosmică nu este decît o aparenţă. Ar trebui să se poată separa complet conceptul de devenire de cel de tranziţie, lucru nu prea uşor pentru gîndirea fizică, chiar pentru cea raţională, şi să se înţeleagă că natura poate fi o trecere fără punct de plecare şi punct de sosire, un fel de devenire absolută.

Oricum ar fi, discutarea celei de-a treia şi celei de-a patra întrebări ne va arăta acum în ce măsură se încurcă faptele şi ideile atunci cînd se încearcă raportarea devenirii cosmice la termenii săi ipotetici.

III. Este posibil sau trebuie să se conceapă o stare finală a Universului? Din multe motive, această întrebare suscită mai puţin interes decît întrebarea corespunzătoare asupra stării iniţiale. Trebuie totuşi să o punem, măcar din atenţie pentru o enumerare completă. Dintre toţi cosmologii moderni, Jeans este cel care a insistat cel mai mult asupra acestui sfîrşit al Universului, asupra acestei „morţi" cosmice. El o concepe ca pe o dematerializare totală.

„Deci Universul se va sfîrşi atunci cînd orice atom susceptibil de distrugere va fi fost distrus şi cînd energia sa, convertită în energie calorică, va fi fost răspîndită pentru totdeauna în spaţiu, cînd toată materia susceptibilă de a se transforma în radiaţie va fi suferit această transformare"[1].

Dacă rămînem în cadrul argumentaţiei care se sprijină pe cel de-al doilea principiu al termodinamicii, concluzia pare inevitabilă: Universul este un sistem izolat prin definiţie, el nu poate decît să se îndrepte spre acest echilibru şi, odată ce îl atinge, să înceteze de a evolua global.

Această concluzie este totuşi mult prea abstractă şi, dacă o confruntăm cu cunoştinţele dobîndite de astronomia modernă asupra transformărilor care decurg efectiv în Univers, vedem că ea rămîne foarte departe de concluziile care se pot trage pornind de la faptele cunoscute. Căci trebuie să ţinem cont, pe de o parte, de transformările locale, mai ales de evoluţia stelelor, în care este concentrată o parte foarte importantă a materieienergiei cosmice, şi, pe de alta, de evoluţia globală, cea a Universului. Or, cele două imagini nu se confundă deloc; ele sînt chiar deosebit de contrastante, pentru că stelele îşi sfîrşesc cariera —

---

[1] *L'Univers, op. cit.*, p. 269.

dacă aceasta are un sfîrşit — prin condensare, în timp ce Universul ar putea să se disperseze fără sfîrşit...

Starea finală a materiei stelare rămîne o problemă profund obscură, iar expansiunea spaţiului modifică în suficientă măsură condiţiile de aplicare a principiilor termodinamice — în raport cu cele care prevalează în sistemele locale — pentru ca noţiunea de stare finală să nu mai aibă un sens indiscutabil în cazul unui Univers în expansiune.

Referindu-ne mai întîi la evoluţia stelară, datele fundamentale ale problemei sînt simple, dar soluţionarea sa efectivă este extrem de dificilă. În perioada sa de stabilitate, steaua este un sistem fizic staţionar sau cvasistaţionar, în care se realizează echilibrul a două forţe principale : gravitaţia, care tinde să comprime astrul, şi presiunea radiaţiei, care tinde să-l disperseze[1]. În timp însă ce gravitaţia este legată de însăşi existenţa masei, din care numai o mică parte este împrăştiată sub formă de radiaţie, nu acelaşi lucru se întîmplă cu cel de-al doilea factor al echilibrului. Presiunea radiaţiei depinde de reacţiile termonucleare la care iau parte atomii care compun steaua. Aceste reacţii nu pot însă să continue indefinit ; ele trebuie să se stingă progresiv, fără îndoială după multe avataruri şi printr-un ansamblu de transmutaţii extrem de complexe, atunci cînd o anumită proporţie din materialele iniţiale — în esenţă hidrogen — a suferit ciclul complet de transmutaţii posibile. Gravitaţia fiind din ce în ce mai puţin echilibrată, astrul se prăbuşeşte asupra lui însuşi şi materia-energia capătă densităţi enorme, atît de enorme încît ele depăşesc limitele în cadrul cărora se aplică cu certitudine legile fizice cunoscute.

Ce se întîmplă atunci? Spre ce tinde evoluţia finală a astrului supercondensat? Acest lucru depinde mult de masa sa iniţială. În cazul în care aceasta depăşeşte sensibil masa Soarelui, problema este cu adevărat obscură. Pot apărea perioade de instabilitate mai mare sau mai mică, ba chiar adevărate explozii care fac ca steaua să piardă o parte din masa sa (aceasta corespunde fără îndoială extraordinarelor fenomene de novă şi supernovă observate de astronomi). Dar, oricum, vine momentul în care, dacă putem spune aşa, steaua scapă din mîna fizicianului[2]. Observaţia dove-

---

[1] Aici este vorba, natural, de o descriere extrem de simplificată. În echilibrul astrului intervin mulţi alţi factori.

[2] În ultimii zece ani s-au elucidat multe din problemele legate de stadiul final al evoluţiei stelelor cu masă mai mare decît cea a Soarelui. S-a stabilit că dacă masa stelei depăşeşte limita de 1,2 mase solare, apare un nou echilibru la o densitate mult mai mare, steaua fiind o stea neutronică. La valori ale masei de peste 3 mase solare colapsul gravitaţional nu mai poate fi oprit şi se formează o gaură neagră (*black hole*)- *N. T.*

deşte că starea supercondensată nu este o închipuire: există aştri (spre exemplu companionul lui Sirius, care gravitează în jurul acestei stele strălucitoare şi apropiate), a căror masă se poate calcula prin mijloace dinamice şi a căror densitate se dovedeşte a fi enormă, radiaţia lor fiind slabă şi starea lor fizică „avansată". Dar în cazul acestor „pitice albe", cum sînt numite, mai poate fi încă conceput un fel de echilibru, în cadrul teoriilor cuantice care prevăd proprietăţi noi ale electronilor la densităţi foarte mari; acest echilibru nu este însă posibil decît pentru mase care nu depăşesc o anumită valoare critică evaluată de Schatzman la 1,2 mase solare, Soarele fiind o stea medie [1]. Acest fel de echilibru nu este deci posibil în cazul stelelor mari (dintre care unele au o masă de o sută de ori mai mare decît cea a Soarelui) decît dacă ele pierd în cursul evoluţiei o parte suficient de mare din materia lor, ceea ce nu a fost dovedit încă.

Care este deci soarta stelelor mari? Începînd cu o anumită limită a densităţii, teoria relativităţii lasă să se bănuiască efecte stranii, iar fizica nucleară permite să se presupună noi moduri de transformare a materiei-energiei. Într-o masă extrem de condensată cîmpul gravitaţional trebuie să introducă modificări uriaşe în măsurarea timpului. Un proces de cîteva ore măsurat în timpul local al astrului ar putea dura mii de ani în timpul măsurat de un observator exterior, astfel încît starea finală a astrului pentru acest observator ar fi proiectată la infinit. Pe de altă parte, gravitaţia, „curbînd" din ce în ce mai mult spaţiul local, ar sfîrşi prin a închide complet radiaţia, astrul dispărînd încetul cu încetul din Univers. Acesta este un rezultat cunoscut încă de la Oppenheimer [2]. Este adevărat că el este contestat de Wheeler şi colaboratorii săi, care nu exclud posibilitatea ca, în sensul a ceea ce imagina Jeans, întreaga masă să sfîrşească prin a se împrăştia sub formă de energie radiantă, prin neutrini [3].

Sîntem în orice caz foarte departe de imaginea simplistă a „morţii termice"...

În ceea ce priveşte evoluţia globală a Universului, este destul de evident că expansiunea spaţiului transformă şi problema stării finale. Mai întîi, din punct de vedere geometric, într-un Univers în care spaţiul ar fi în expansiune indefinită în raport cu timpul cosmic, nu s-ar putea vorbi de „sfîrşit" în nici un punct

---

[1] E. SCHATZMAN, *Origine et évolution des mondes*, Albin Michel, Paris, 1957, p. 164.

[2] R. OPPENHEIMER, A. SNYDER, Phys. Rev., 56, 1939, p. 455.

[3] K. HARRISON, M. WAKANO, J. A. WHEELER, *Matter-Energy at High Density*, în *La Structure et l'Evolution...*, *op. cit.*, pp. 139–140.

al timpului : la orice moment s-ar putea discerne sensul evoluţiei cosmice, s-ar putea prevedea un viitor diferit de prezent. Se va spune că aceste consideraţii geometrice nu au o pondere prea mare, dar pentru teoria relativităţii generalizate, tot ceea ce este geometric în Univers este şi fizic. Este deci rezonabil să ne putem aştepta ca acestui aspect geometric să-i corespundă anumite particularităţi termodinamice ale materiei-energiei cosmice aflate în expansiune.

Este tocmai ceea ce, aşa cum vom vedea imediat, demonstrează Tolman după o adaptare atentă a enunţurilor de bază ale termodinamicii la conceptele şi principiile relativiste. Forma adiabatică a expansiunii cosmice deschide două posibilităţi. În primul rînd, această expansiune poate fi „reversibilă”, în sens termodinamic, şi neînsoţită de nici o variaţie a entropiei, chiar între două stări care nu sînt infinit vecine. În acest caz, cel de-al doilea principiu nu interzice ca expansiunea să se desfăşoare indefinit, ceea ce exclude ca Universul să atingă vreo „stare finală”, cel puţin din punct de vedere geometric, şi ca distincţia dintre viitor şi trecut să se şteargă vreodată. În al doilea rînd, expansiunea adiabatică poate fi „ireversibilă” în sens termodinamic. În acest caz, după cum rezultă din discuţia lui Tolman şi Zanstra, încetează să mai fie evident faptul că entropia este mărginită superior şi că nu poate creşte indefinit în suita indefinită a pseudociclurilor imaginate de Tolman [1]. Fără îndoială, această concepţie se loveşte de obiecţia pe care am amintit-o. Pe de altă parte, după o remarcă a lui Robertson, menţionată de Zanstra, Tolman demonstrează cel mult posibilitatea unei creşteri indefinite a entropiei, nu şi necesitatea sa. Dar trebuie să constatăm în orice caz că concluziile cosmologice simple şi aparent inevitabile care par să rezulte din legile termodinamicii, în concepţia clasică despre Univers, sînt foarte estompate atunci cînd sînt situate în sistemul de concepte ale cosmologiei relativiste. Acest lucru este la fel de adevărat în cazul cosmologiilor moderne care nu se bazează pe relativitatea generalizată : în modelul de univers al relativităţii cinematice şi cu atît mai mult în cel al teoriei stării staţionare, care postulează expansiunea indefinită şi generarea continuă de materie-energie, nu există „stare finală”. Astfel, concluzia cea mai moderată a întregii discuţii pare să fie aceea a lui Tolman :

„În orice caz, ar fi mai înţelept să nu afirmăm dogmatic că principiile termodinamicii cer în mod necesar un Univers creat

---

[1] După Zanstra durata totală a suitei pseudociclurilor este mărginită în mod necesar spre trecut, dar nu şi spre viitor. Schema lui Tolman ar indica deci o *stare iniţială* a Universului, dar nu şi o *stare finală*.

la distanţă finită în trecut şi destinat, în viitor, stagnării şi morţii"[1], cu observaţia că, pentru noi, prima parte a acestei fraze rămîne în discuţie.

IV. A pornit evoluţia Universului de la o stare iniţială, care poate fi definită şi datată? Dintre cele patru întrebări pe care le discutăm, aceasta este desigur cea mai obscură şi cea mai controversată; ea ne va reţine multă vreme.

În ciuda aparentei sale simplităţi şi chiar independent de posibilitatea unui răspuns care ar putea fi justificat empiric, ea ascunde în realitate o asemenea complexitate conceptuală încît nu putem spera să facem mai mult decît să descurcăm puţin firele şi să folosim această ocazie pentru a ne întreba în ce măsură era îndreptăţit Kant să considere problema ca dialectică şi generatoare de antinomie, şi dacă Comte avea dreptate să o înlăture pur şi simplu ca „metafizică". De fapt, însuşi sensul problemei şi răspunsurile posibile ale ei cer o examinare atentă.

Este de la sine înţeles că orice enunţ care se referă la un început al evoluţiei cosmice depinde — într-o măsură mai mare decît oricare altul referitor la această evoluţie — de ipoteza geometrică a timpului cosmic: într-un Univers relativist, în acelaşi timp „rotitor" şi în expansiune, ca cele ale lui Gödel, definirea unei stări iniţiale ar fi fără îndoială imposibilă. Acest prim punct fiind precizat, iată metoda pe care ne propunem s-o urmăm:

1. Presupunînd mai întîi că se *afirmă* existenţa în trecut a unei „stări iniţiale", a unui „moment iniţial", chiar a unei „creaţii" a Universului luat în ansamblul său, ce sens poate avea această afirmaţie? (Există desigur mai multe sensuri.)

2. Presupunînd în continuare că se *neagă* această existenţă, ce sens are această negaţie? (Şi în acest caz există mai multe sensuri, care nu corespund simetric cu cele ale afirmaţiei.)

1. *a*. Primul sens al tezei.

Într-un timp infinit, conceput ca asociat în mod necesar cu reprezentarea oricărei existenţe fizice, conţinutul material al Universului a început să existe la un moment dat.

Aceasta este „teza" primei antinomii a lui Kant. Citām acest prim sens al ei ca termen de referinţă. De fapt, teza este destul de străină de spiritul ştiinţei moderne, care în această privinţă îi dă dreptate lui Leibniz împotriva lui Newton şi Clark, considerînd că timpul nu poate fi separat de relaţia temporală care situează

[1] K. HARRISON, M. WAKANO, J. A. WHEELER, *op. cit.*, p. 144.

orice eveniment în raport cu un „înainte" şi un „după" — aşa cum nici spaţiul nu poate fi separat de relaţiile topologice şi metrice dintre entităţile fizice. Cum existenţa fizică aparţine termenilor relaţiei şi nu relaţiei în sine, un eveniment iniţial *în* timp ar fi într-un anumit sens lipsit de o bază de susţinere, fiind sprijinit la un capăt, dar nu şi la celălalt. Cu alte cuvinte, dacă ne menţinem la termenii — altfel inadecvaţi pentru problematica actuală a cosmologiei — ai primei antinomii a lui Kant, ştiinţa este, aşa cum nota Kant, de partea a ceea ce el numeşte „empirism", adică de partea „antitezei", cel puţin în ceea ce priveşte timpul.

Era totuşi util să menţionăm explicit acest prim sens, pentru că aceasta conduce de la sine la cîteva remarci simple dar importante asupra reprezentării matematice a timpului fizic. În cursul lungii istorii a fizicii s-a stabilit o legătură strînsă între timp şi numerele reale. Într-adevăr, sub forma sa modernă, gîndirea fizică este prin excelenţă analitică — acesta este un loc comun — ea descompune secvenţele în prealabil izolate, în evenimente instantanee, aşa cum descompune corpurile în mase sau sarcini punctuale sau cvasipunctuale. Matematic, pînă în prezent cel puţin, singura mulţime de referinţă folosită de fizică pentru a reprezenta suita de momente a fost corpul numerelor reale, cu structura sa de spaţiu vectorial pe el însuşi, cu relaţia sa de ordonare totală şi cu topologia sa „naturală". Dacă se postulează unicitatea timpului şi separarea cosmică între timp şi spaţiu, este dificil să se conceapă altceva decît o corespondenţă biunivocă între mulţimea momentelor cosmice şi mulţimea numerelor reale. Or, această „aplicaţie" sau „proiecţie" epistemologică implică ca o consecinţă evidentă faptul că mulţimea momentelor cosmice nu poate fi proiectată pe o parte compactă, chiar închisă, a numerelor reale. Trebuie să avem în vedere, acest fapt mai ales în discutarea universurilor „ciclice".

Apare totuşi o obiecţie care merită să fie examinată. Chiar fără a presupune existenţa timpului cosmic, considerînd numai suita de evenimente pe care un observator o poate constata sau conchide în imediata sa vecinătate spaţială, noţiunea de eveniment instantaneu şi cea de moment, proiecţia epistemologică a mulţimii momentelor pe mulţimea numerelor reale, nu sînt deloc lucruri evidente, nici pentru „bunul simţ", nici pentru matematica pură, nici pentru „conştiinţa transcendentală". G. J. Whitrow aduce în acest sens dovezi numeroase şi foarte diverse, în special dovada istorică foarte serioasă că argumentele lui Zenon au continuat să suscite şi în secolul al XX-lea interes şi controverse din partea

spiritelor celor mai alese şi a celor mai autorizate în matematică, chiar *după* ce conceptele de bază ale analizei, ca cel de limită sau de continuitate, au fost complet epurate de toate intuiţiile temporale asociate cuvintelor „variabilă", „a tinde spre" etc. [1].

Evenimentul instantaneu, momentul, nu sînt desigur date empirice. Pentru definirea lor prin abstractizare, pornind de la evenimente percepute, care au toate o anumită grosime în durată, sînt posibile diferite metode. Aplicînd-o pe aceea folosită pentru prima oară în mod sistematic de Walker [2] după o sugestie a lui Russell, Whitrow arată că mulţimea momentelor definite în acest mod nu au în mod necesar toate proprietăţile mulţimii numerelor reale, deşi, cu ajutorul unor axiome suplimentare, aceste proprietăţi i-ar putea fi conferite [3].

Nu putem considera deci că proiecţia mulţimii momentelor (în vecinătatea spaţială a unui observator dat şi, cu atît mai mult, a momentelor cosmice) asupra mulţimii numerelor reale ar fi un fapt impus din punct de vedere ontologic.

Totuşi, în ceea ce priveşte problema noastră, obiecţia nu are o semnificaţie prea mare. Într-adevăr, metoda lui Walker şi Whitrow exclude posibilitatea ca mulţimea ordonată a momentelor să poată avea un prim element. Definiţia momentului se bazează într-adevăr, după această metodă, pe o împărţire prealabilă a „evenimentelor" în două clase nevide, aşa încît fiecare eveniment din cea de-a doua clasă să fie precedat de fiecare eveniment din prima. În acest fel, pentru analiza problemei care ne interesează, proiecţia pe mulţimea numerelor reale a mulţimii momentelor cosmice nu riscă să creeze dificultăţi artificiale.

Or, dacă această proiecţie pare să excludă posibilitatea unui timp compact sau închis, ea nu interzice deloc posibilitatea ca timpul să fie reprezentat de un interval deschis, dar mărginit în trecut. Şi aceasta ne conduce la cel de-al doilea sens posibil al tezei unei origini cosmice absolute.

1. *b*. Cel de-al doilea sens al tezei.

În trecut timpul cosmic este deschis, dar mărginit. Atunci, nu mai există la drept vorbind un moment iniţial al istoriei cosmice, ci mai curînd suita evenimentelor converge spre trecut,

---

[1] G. J. WHITROW, *The Natural Philosophy of Time*, Thomas Nelson, London, 1961, pp. 115–152.

[2] Metoda se bazează pe principiul că, între două „evenimente" sau „durate", pot exista două relaţii, care se exclud reciproc: a) precedare (sau succesiune); b) suprapunere.

[3] G. J. WHITROW, *op. cit.*, pp. 157–169.

spre o limită, ireală din punct de vedere fizic, care reprezintă, nu începutul lumii în timp, ci începutul timpului — a cărui descriere scapă prin definiţie fizicii, dar de care fizica se poate eventual apropia oricît de mult în consideraţiile sale retrospective.

Această interpretare a tezei, care va fi numită „metafizică", considerînd acest cuvînt mai ales ca o etichetă, reţine atenţia datorită personalităţii autorilor care au propus-o şi, de asemenea, pentru că pare cu totul neaşteptată în contextul ştiinţific al secolului al XX-lea. Faptul că această teză nu este absurdă reprezintă unul din motivele care întreţin dialectica timpului universal.

O găsim la Lemaître şi Milne, autori înrudiţi prin aceeaşi credinţă religioasă, dar despărţiţi în rest de foarte multe lucruri, pînă la un asemenea punct încît însuşi sensul originii diferă de la unul la celălalt. La Milne, zero-ul absolut al timpului, inaccesibil fizicii, „ascuns" pentru totdeauna omului, are sensul unui eveniment transfizic, este ontologic, este creaţia în sens biblic. Totuşi, deoarece gîndirea conducătoare a lui Milne rămîne întotdeauna idealismul, sensul metafizic conferit originii cosmice a fost sensibil deviat. Într-adevăr, dacă, pentru Milne, trecerea timpului este foarte reală, reperarea şi măsurarea timpului sînt operaţii ale monadelor, operaţii al căror arbitrar nu este total eliminat de condiţiile restrictive pe care le impune constituirea monadologiei matematice [1]. Sînt posibile mai multe scări ale timpului şi, în particular, transformarea logaritmică de la scara t la scara τ împinge originea la infinit... Pe de altă parte, la Milne creaţia nu poate privi decît conţinutul Universului, nu şi forma sa temporală... La Lemaître, dimpotrivă, realismul contrastează de la un capăt la altul cu idealismul milnean, iar originea este cu adevărat origine *a timpului*, în sensul strict ontologic al cuvîntului. Într-adevăr, pentru Lemaître, existenţa materiei-energiei adunate în origine într-un *quantum* unic este prealabilă, într-un sens care dealtfel rămîne enigmatic, existenţei multiplicităţii spaţio-temporale care derivă din ea, căci această multiplicitate nu este decît un fenomen statistic, a cărui realitate se estompează atunci cînd numărul elementelor este mic. De unde, aceste expresii curioase ale lui Lemaître, pe care le reproducem integral :

„Putem concepe că spaţiul a început odată cu atomul primitiv şi că începutul spaţiului a marcat începutul timpului "[2].

---

[1] Vezi mai sus, p. 132.

[2] *L'Hypothèse de l'atome primitif*, *op. cit.*, p. 91.

Căci fizica începe cu multiplul şi nu este posibilă nici o fizică în absoluta simplicitate a existenţei iniţiale. Timpul este însă o existenţă multiplă :

„Începutul multiplicităţii înseamnă în realitate începutul sensului însuşi al oricărei noţiuni care implică un număr mare de indivizi. Spaţiul şi timpul sînt noţiuni de acest fel. Începutul multiplicităţii se situează chiar înainte de începutul spaţiului şi timpului, care dobîndesc progresiv un sens pe măsură ce multiplicitatea creşte. Deoarece spaţiul şi timpul sînt instrumente indispensabile fizicii, acest început se situează chiar înaintea fizicii. Este fundamentul inaccesibil al spaţiu-timp-ului "[1].

Dar dacă multiplicitatea, în cadrul căreia timpul nu este decît unul din aspecte, capătă „progresiv" formă pe măsură ce *quantum*-ul originar se degradează, nu este oare nevoie de un alt timp, de un timp prealabil, pentru a repera apariţia timpului?...

1. *c*. Cel de-al treilea sens al tezei.

Suita de evenimente cosmice se proiectează pe mulţimea numerelor reale, dar prezintă o discontinuitate în trecut. Este ceea ce vom numi concepţia „pozitivă" în legătură cu starea iniţială. Nu mai este vorba în acest caz nici de începutul lumii în timp, nici de începutul timpului, ci de o stare excepţională a materiei-energiei cosmice, cu totul diferită de cele pe care le cunoaştem. Inducţiile noastre ne conduc la ea, fără a ne permite să trecem dincolo. Este o singularitate care se situează într-o istorie cosmică de fapt infinită şi care limitează retrospecţia noastră.

Această interpretare este mai suplă decît precedenta şi permite variante. Starea iniţială poate fi înţeleasă într-un sens mai mult sau mai puţin strict. Varianta cea mai categorică apare în teoria lui Gamow, după care starea iniţială a materiei-energiei cosmice este atît de diferită de cele pe care le putem cunoaşte direct şi evoluează într-un mod atît de evident ireversibil, încît pare cu totul imposibil să se conceapă etapele care au putut *conduce* materia în starea în care s-a găsit, în vecinătatea momentului iniţial, dar de partea aceasta. Sub această formă extremă, interpretarea „pozitivă" nu diferă de interpretarea „metafizică"

---

[1] *L'Hypothèse de l'atome primitif et le problème des amas de galaxies*, în *La Structure et l'Evolution...*, *op. cit.*, p. 6. Aceste două texte au fost publicate la un interval de peste douăzeci de ani ; este vorba, deci, nu de remarci ocazionale, ci de o gîndire consecventă a autorului.

decît prin ipoteza continuării spre trecut a existenţei fizice, dar fără a se putea gîndi ceva despre „preistorie".

O variantă mai puţin categorică — care nu a fost urmată dealtfel pînă acum de nici o cercetare pur cosmogonică — este oferită, cum am văzut, de modelele relativiste anizotrope ale lui Schücking şi Heckmann şi ale altora, şi de modelul newtonian în rotaţie al lui Heckmann. Trecerea Universului prin starea singulară ar avea atunci un sens pur geometric, ea nu ar afecta decît distribuţia materiei la scară foarte mare şi nu ar avea în mod necesar vreo urmare asupra structurilor atomice, moleculare, chiar planetare şi stelare.

1. *d.* (sau 2. *a*). Cel de-al patrulea sens al tezei (sau primul sens al antitezei).

Istoria Universului este periodică. Momentul iniţial nu este decît începutul unei perioade.

Tolman a demonstrat, în cadrul ipotezelor robertsoniene, că dacă metrica cosmică evoluează periodic, ea nu poate oscila decît între două singularităţi [1]. Aşa cum sugerează cercetările lui Heckmann, această concluzie nu mai este desigur valabilă în anumite condiţii de anizotropie, dar pentru a nu complica în mod inutil o discuţie laborioasă, ne vom menţine la cazul izotrop. În cazul în care Universul ar fi periodic, partea istoriei cosmice care ar preceda singularitatea pe care o indică inducţiile noastre ar fi o suită indefinită de cicluri identice cu cel despre care avem unele cunoştinţe, obţinute plecînd de la datele existente în prezent.

Dar trebuie să împrăştiem seriosul echivoc pe care îl ascunde această ipoteză a periodicităţii, ipoteză perfect plauzibilă dacă luăm în consideraţie numai ecuaţiile cosmologiei relativiste şi datele actuale de observaţie.

După o remarcă făcută chiar de către Friedman, în cazul în care funcţia $R(t)$ ar fi periodică, ar trebui să se facă o alegere în privinţa topologiei timpului. S-ar putea de exemplu identifica începutul şi sfîrşitul perioadei, astfel încît timpul existenţei cosmice să fie finit.

Dar această formă riguroasă a ipotezei periodicităţii se poate într-adevăr concepe? Faptul poate fi îndoielnic, căci în acest caz, mulţimea de referinţă pentru momentele timpului ar fi compactă,

---

[1] *Relativity, Thermodynamics..., op. cit.*, § 172, p. 431. Pentru ca Universul să poată oscila între două stări nesingulare, ar trebui ca presiunea fluidului să crească în timpul expansiunii.

iar relaţia de ordonare totală nu ar mai fi valabilă : despre orice eveniment s-ar putea spune în mod indiferent că s-a produs înainte sau după momentul zero. Orice raţionament prin care se arată că un eveniment provine din starea Universului la acest moment ar trebui să servească de asemenea şi pentru a arăta că el conduce la aceasta. Nu ar mai exista deci nici orientare temporală, nici cauzală. Un Univers strict periodic ar fi deci în realitate un Univers atemporal.

Dacă vrem deci să evităm această închidere paradoxală a timpului, trebuie să admitem că evoluţia ciclică, dacă există, se produce într-un timp infinit, adică de fapt că se suprapune unei suite ireversibile de evenimente (ceea ce, după discuţiile lui Tolman pe care le-am menţionat, se poate concepe fără dificultăţi). Într-adevăr, dacă două evenimente cosmice care îşi corespund unul altuia în două perioade diferite sînt strict indiscernabile, cum ar putea fi deosebite perioadele? Soluţia ciclică deplasează problema originii, dar nu o rezolvă.

Oricît am considera-o de îndoielnică, ciudata presupunere a lui Pachner clarifică totuşi în mod calitativ ideea că un Univers cu adevărat periodic este complet atemporal. Conform acestei presupuneri [1], Universul se poate identifica, în primă aproximaţie, cu un Univers relativist închis şi oscilant. În timpul fazei de expansiune, încetinirea mişcării este însoţită de condensarea energiei cinetice în masă. Cînd această condensare este încheiată, expansiunea se opreşte, începe contracţia, care se accelerează, antrenînd transformarea masei în energie cinetică. Ajuns în stare punctuală, Universul o ia de la început. Această schemă este puţin probabilă din mai multe motive, dar nouă ne va reţine atenţia următorul aspect : chiar presupunînd că schema ar fi compatibilă cu principiul conservării energiei, ea nu este sigur compatibilă cu cel de-al doilea principiu. Într-adevăr, periodicitatea evoluţiei cosmice nu este obţinută decît prin juxtapunerea, în orice moment, în întreg Universul, a unor procese cu sensuri termodinamice contrarii. Deoarece expansiunea este însoţită de o deplasare spre roşu a radiaţiei, acesta este un proces cu sens termodinamic pozitiv. În schimb, condensarea în masă a unui anumit tip de energie nu poate fi decît o transformare cu entropie descrescătoare. În acest model al lui Pachner sensul timpului nu poate fi deci definit în nici un moment. Vom presupune că, într-un fel sau altul, această particularitate se va regăsi în orice model cu adevărat periodic, în care periodicitatea nu se suprapune unei evoluţii ireversibile.

---

[1] Vezi mai sus, p. 281.

2. *b*. Cel de-al doilea sens al antitezei[1].

Nu există evenimente cosmice, ci numai evenimente locale sau regionale; timpul cosmic nu este decît o formă geometrică lipsită de sens.

După această concepţie, existenţa unei istorii cosmice concrete şi integrale este o iluzie. Singularitatea în trecutul expansiunii nu este decît un miraj, sau cel mult un eveniment regional. Timpul cosmic al cosmologiei newtoniene sau al cosmologiei robertsoniene nu este decît o ipoteză geometrică care permite racordarea apriorică a proceselor locale observate sau deduse, fără a oferi însă o adevărată garanţie cu privire la natura lucrurilor. Această poziţie agnostică, necosmologică, este o poziţie pur negativă faţă de starea iniţială, ba chiar faţă de Universul în sine. Într-un sens ea este cea mai comodă şi, probabil, este cea preferată de o serie de astronomi şi fizicieni. Vom vedea de ce ea nu este totuşi cu adevărat satisfăcătoare.

2. *c*. Cel de-al treilea sens al antitezei.

Există desigur un proces cosmic continuu, în care este posibilă din punct de vedere teoretic o secţiune instantanee, dar nu există „moment iniţial", pentru că procesul cosmic decurge uniform şi indefinit; singurele care au început sînt transformările locale. Aceasta este poziţia teoriei stării staţionare. Procesul uniform care materializează scurgerea infinită a timpului cosmic este generarea continuă de materie.

2. *d*. Cel de-al patrulea sens al antitezei.

Există o istorie cosmică, o devenire ireversibilă a ansamblului entităţilor fizice, dar originea acestei istorii este situată la infinit în trecut. Această formă a antitezei este destul de apropiată de fapt de forma „metafizică" a tezei, pentru că exemplul lui Milne arată că în interiorul aceleiaşi cosmologii nu este imposibil ca printr-o schimbare a scării de măsură a timpului să se treacă de la una la alta.

---

[1] Am considerat ipoteza periodicităţii atît printre sensurile tezei (pentru că trecerea prin singularitatea cosmică este admisă), cît şi printre sensurile antitezei (pentru că nu există origine adevărată).

C. Dialectica originii

Enumerarea precedentă pare poate complicată şi anostă, dar ar fi fost imposibil să o simplificăm mai mult fără a denatura situaţia conceptuală în care se angajează orice meditaţie privind originea, în starea actuală a cunoştinţelor pozitive. Deşi nu este la drept vorbind antinomică, ca în „dialectica transcendentală", această situaţie nu este totuşi mai puţin *dialectică* : nu numai că este imposibil să se invoce argumente convingătoare în favoarea uneia sau alteia dintre teze, dar, mai mult, orice încercare de a justifica, sau chiar de a preciza, una sau alta dintre ele duce aproape inevitabil la alterarea sensului. Este tocmai ceea ce ne propunem să evidenţiem prin dezvoltarea în principal a următoarelor puncte.

a. Întrebarea cu privire la originile istoriei cosmice nu este, aşa cum putea să pară acum cincizeci de ani, gratuită şi inutilă din punct de vedere ştiinţific. Aşa cum am avut ocazia să remarcăm, ea se impune acum cu o anumită insistenţă la orizontul diferitelor cercetări pozitive.

b. Orice reprezentare fizico-matematică sigură a acestei stări iniţiale prezintă totuşi neajunsuri, inducţiile spre trecut, pornind de la observaţia din prezent, nereprezentînd o convergenţă netă.

c. Interpretările „tari" ale stării iniţiale, care fac din aceasta o singularitate sau o discontinuitate a istoriei cosmice, sînt într-un anumit sens cele mai satisfăcătoare[1]. Ele izbesc, totuşi, atît de puternic obişnuinţele de gîndire ale fizicianului încît puţini le consideră ca fiind altceva decît un mit raţional.

d. Interpretările „slabe", cu o singularitate cosmologică amortizată, mai curînd deplasează problema decît răspund la ea, iar ipoteza periodicităţii, greu de conceput în sensul strict al timpului care se închide, ridică în orice caz dificultăţi foarte serioase.

e. Negarea pur şi simplă a istoricităţii cosmice nu este un răspuns inatacabil, căci ea este greu de pus în acord cu presupunerile foarte puternice cu privire la ireversibilitatea cosmică pe care le-am relevat şi, poate, cu simplul fapt al unei ireversibilităţi locale.

f. Dacă ar fi de ales, luînd în consideraţie toate elementele dialecticii, autorul s-ar alătura cel mai bucuros teoriei stării staţionare.

a. Cunoaştem cea mai mare parte a motivelor care militează în favoarea luării în consideraţie a ideii unei stări iniţiale. Depla-

---

[1] Descoperirea, în anul 1965, a radiaţiei izotrope corespunzătoare temperaturii corpului negru de 2,7 K a confirmat teoria existenţei unei singularităţi în trecut (vezi PENZIAS, A., WILSON, R., Astrophys, J., 142, *419*, 1965). — *N.T.*

sarea spre roşu şi interpretarea sa structurală cu ajutorul modelelor robertsoniene, relativiste sau nu, conduce uşor la concluzia că există şanse destul de serioase ca istoria geometrică a Universului să fie descrisă în mod adecvat de unul din modelele acestei categorii foarte largi, în care funcţia $R(t)$ are un zero. În acest moment zero metrica este singulară şi, dacă acceptăm ipoteza conservării, densitatea materiei-energiei este infinită.

Mai general, presupunerile în legătură cu ireversibilitatea impuse de observaţie sugerează în mod natural ideea unui început. În plus, mai concret, deşi poate mai puţin convingător, ritmul actual al marilor procese cosmologice — formarea stelelor pornind de la materia interstelară, formarea elementelor grele pornind de la hidrogen — nu este destul de accentuat, în ochii multor astrofizicieni, pentru a explica multiplicitatea actuală a structurilor complexe observate. Mulţi cred, fără a putea aduce totuşi dovezi convingătoare, că procesele genetice au fost mai numeroase sau mai rapide într-o anumită epocă din trecutul cosmic.

În sfîrşit, estimarea numerică a duratei probabile a anumitor secvenţe cosmice mari aduce argumente destul de puternice în favoarea tezei. Într-adevăr, deducerile care se pot face duc la un trecut „scurt”, de ordinul a cîtorva miliarde, cel mult cîteva zeci de miliarde de ani. Inversul constantei lui Hubble este actualmente estimat la maximum treisprezece miliarde de ani [1]. Acesta ar fi intervalul de timp care ne-ar separa de „origine”, dacă expansiunea este liniară; dacă expansiunea se încetineşte, aşa cum indică observaţiile actuale, trecutul cosmic este încă şi mai scurt. Calculul bazat pe dezintegrarea mineralelor radioactive situează solidificarea scoarţei terestre cu patru sau cinci miliarde de ani în urmă. Aceasta este în mare şi vîrsta Soarelui, astru reprezentativ pentru populaţia stelară medie a Galaxiei. Cît despre Galaxie, există diferite motive care ne fac să credem că ea este o structură în evoluţie „rapidă”. După calculele lui Hoyle (nu-l putem suspecta deloc că minimalizează duratele cosmice, pentru că el nu crede în starea iniţială), Galaxia ar fi început să se formeze acum cel mult douăzeci şi cinci de miliarde de ani.

Noţiunea de trecut „scurt” poate părea arbitrară. Ea va părea mai puţin arbitrară dacă remarcăm că aceste cîteva miliarde de ani corespund celor cîteva miliarde de ani-lumină care ne separă după cît se pare de obiectele cele mai îndepărtate pe care le putem observa. Pe de altă parte, aceste durate reprezintă puţin faţă de

---

[1] Determinări recente indică o valoare mai scăzută a constantei lui Hubble, $H = 50$ km/s/Mpc, ceea ce duce la o valoare mai mare pentru „vîrsta” Universului, $1/H = 17 \cdot 10^9$ ani. — *N.T.*

cele pe care calculele mecanicii statistice le atribuie ansamblurilor stelare, în ipoteza unei evoluţii pur cinematice, locale şi întîmplătoare. În sfîrşit, vîrsta expansiunii, cea a scoarţei terestre şi cea a Soarelui sînt calculate pornind de la date empirice diferite, postulate diferite, legi fizice diferite. Aprioric, rezultatele ar putea să se eşaloneze într-un mod oarecare între zero şi minus infinit. Convergenţa lor, chiar aproximativă, sugerează insistent existenţa unei legături reale între aceste rezultate diferite.

Acestor motive pozitive li se adaugă altele mai dialectice şi destul de apropiate de cel care stă la baza demonstraţiei „tezelor" în antinomiile lui Kant, cel care răspunde exigenţei raţionale a determinării complete a condiţiilor de existenţă ale faptului empiric, pentru că astăzi, ca întotdeauna dealtfel, această exigenţă este cea care motivează în esenţă căutările cosmologice şi cosmogonice. Or, ipoteza stării iniţiale înlesneşte concentrarea într-un ansamblu de condiţii iniţiale relativ simple şi bine definite a tuturor raţiunilor suficiente pentru existenţa structurilor observate, în virtutea legilor fizice cunoscute.

b. Totuşi, chiar în momentul în care admitem verosimilitatea empirică şi utilitatea raţională a stării iniţiale, se naşte întrebarea : se poate oare concepe o reprezentare care să satisfacă toate exigenţele implicate de relaţia sa cauzală cu fenomenele actuale? Tot ce putem spune este că răspunsului îi lipseşte claritatea. Costa de Beauregard observă că dacă ireversibilitatea termodinamică este interpretată statistic, atunci la originea evoluţiei cosmice trebuie să fie presupusă o „fantastică improbabilitate". Acest concept ar putea desigur să fie în acord cu „atomul primitiv" al lui Lemaître, care concentrează într-un singur *quantum* întreaga energie cosmică, dar este el de asemenea în acord cu *ylem*-ul lui Gamow, gaz neutronic perfect omogen, în care energia este uniform distribuită între o mulţime de particule de materie-energie perfect identice unele cu altele? Evident, ne lipseşte un postulat indiscutabil care să ne permită să fundamentăm folosirea noţiunii de probabilitate în condiţii atît de aberante faţă de cele care sînt luate în consideraţie în general în fizică.

În afară de aceasta, cîteva remarci simple ne arată riscul la care ne expunem atunci cînd vrem să trecem de la constatarea sigură a unei evoluţii termodinamice la situarea ipotetică a începutului acestei evoluţii. După cel de-al doilea principiu, starea iniţială a Universului ar trebui să fie concepută ca o stare de entropie minimă. Dată fiind însă extrema generalitate a raţionamentelor termodinamice şi caracterul lor „fenomenologic", aceasta nu este deloc suficient pentru a preciza o reprezentare sau un model

al Universului în această stare. Trebuie totuşi să notăm că termodinamica clasică dispunea, cu ajutorul principiului lui Nernst-Planck, de un mijloc pentru a stabili o scară absolută a entropiilor. Zero-ul acestei scări este entropia unui cristal pur la zero absolut, după sugestia făcută de Planck, în urma demonstraţiei lui Nernst, care arătase că pentru orice transformare care lasă constantă temperatura unui astfel de corp, variaţia entropiei este nulă. Acest principiu nu este o convenţie lipsită de consecinţe, ci permite calculul efectiv al entropiilor. Definirea unui zero al entropiei nu are sensul pur convenţional pe care îl poate avea definirea unui zero al energiei. Într-adevăr, tocmai datorită rolului pe care îl joacă variaţia entropiei în reprezentarea transformărilor fizice cărora le dă un sens privilegiat, zero-ul entropiei trebuie să corespundă unei stări excepţionale a materiei. Însuşi enunţul principiului lui Nernst arată că definirea zero-ului entropiei face ca termodinamica să iasă din domeniul pur fenomenologic în care se găsea la început. Ne-am putea deci gîndi aprioric că această definiţie are o semnificaţie cosmologică.

Totuşi, după cîte ştim, nici o teorie cosmogonică nu a reţinut imaginea cristalului pur la zero absolut pentru a reprezenta starea iniţială a Universului... Aceasta pentru că dacă această imagine seducătoare nu contrazice cerinţa unei stări foarte condensate a materiei la începutul expansiunii, ea nu răspunde în nici un fel cerinţelor cosmogoniei. Temperaturi foarte mari pentru sinteza elementelor, suficientă energie „actuală" sau actualizabilă necesară pentru a „lansa" expansiunea... la toate acestea nu răspunde deloc acest model al perfectei armonii şi al echilibrului de nezdruncinat care este cristalul pur în starea de riguroasă imobilitate pe care o semnifică temperatura zero[1]... Trecere de la potenţă la act? de la ordine la dezordine? de la energia „nobilă" la energia „decăzută"? Ideea concretă de transformare fizică spontană este în realitate supradeterminată. În funcţie de problema considerată, abordarea experimentală şi teoretică impune concepte derivate mai mult sau mai puţin direct din una sau alta din aceste semnificaţii concrete. Ştiinţele particulare se acomodează racordîndu-şi cît mai bine conceptele sau formulele făurite, pentru a răspunde diferitelor tipuri de transformări. Dar cosmogonia poate tolera cu greu acest polimorfism al evoluţiei, sau al involuţiei fizice. De asemenea, noţiunea sa de stare iniţială riscă să nu poată fi în acelaşi timp destul de precisă pentru a fi abordată matematic şi destul

[1] Riguros vorbind, această stare nu are sens din punctul de vedere al fizicii contemporane. În virtutea relaţiilor de incertitudine, poziţia riguros definită a unui atom într-un cristal este incompatibilă cu o viteză riguros nulă a sa.

de largă pentru a domina toate tipurile de transformări cosmice care se pot concepe.

În sfîrşit, astrofizica ne învaţă că anumite secvenţe genetice merg de la difuz la condensat — după cît se pare acesta este cazul formării stelelor. Alte secvenţe pot fi însă legate de fenomene explozive, locale sau cosmice, ca de exemplu sinteza elementelor. Aceasta sugerează imagini contrare cu privire la starea iniţială.

c. Caracterul dialectic al reflecţiei asupra originii va ieşi în evidenţă cu o deosebită claritate dacă observăm că interpretările „tari" („metafizice", care implică o totală discontinuitate a istoriei cosmice) sînt în acelaşi timp cele care satisfac cel mai bine exigenţa determinării complete şi cele care şochează cel mai mult obişnuinţele spiritului ştiinţific. Teoria genezei elementelor a lui Alpher, Hermann şi Gamow, teorie asupra căreia vom reveni, este în această privinţă un fel de capodoperă. Ipoteza stării iniţiale singulare permite într-adevăr acestor autori să prezinte geneza tuturor speciilor atomice cunoscute ca pe un proces unic şi continuu pornind de la cele mai simple structuri nucleare [1]. Deşi, la drept vorbind, insuficient în privinţa anumitor detalii importante, acordul cu curba empirică a abundenţei elementelor este totuşi deosebit de remarcabil dacă ne gîndim la simplitatea conceptuală a teoriei şi la relativa ei simplitate matematică.

Şi totuşi, fără îndoială că celor mai mulţi dintre oamenii de ştiinţă angajaţi în studiul pozitiv al Universului, acest lucru nu li se pare *credibil* şi ei preferă în prezent să se îndrepte spre teoria care face din geneza elementelor un proces stelar. Aceasta este o teorie dificilă, complicată, obligată să facă apel la numeroase tipuri de reacţii nucleare şi să înmulţească ipotezele, dar capabilă totuşi să se refere la fiecare pas la unul sau altul dintre rezultatele dobîndite de astrofizica teoretică sau empirică.

Astăzi, ca şi pe timpul lui Kant, gîndirea ştiinţifică este deci în mod spontan înclinată spre antiteză. Aceasta se datoreşte poate pur şi simplu faptului că antiteza permite ştiinţei să pună şi să rezolve mai bine problemele, să-şi exploreze propriile domenii de cercetare într-o relativă siguranţă metafizică. Căci originea singulară a istoriei cosmice scoate la iveală în mod extrem de brutal şi, ca să spunem aşa, nepotrivit, evidenţa unei limitări esenţiale, a unei infirmităţi constituţionale a oricărei cunoaşteri raţionale

---

[1] În prezent, odată cu adoptarea modelului cosmologic cu un început fierbinte în trecut (modelul *big-bang*), se consideră că elementele chimice de la H la Li s-au format în primele faze ale evoluţiei Universului, iar celelalte s-au format prin nucleosinteză stelară, conform teoriei dezvoltate de E. M. BURBIDGE, G. R. BURBIDGE, W. A. FOWLER, F. HOYLE.

a lumii. Ideea originii singulare unifică şi condensează ideea de univers, tinzînd să-i rezume conţinutul prin enunţarea cîtorva condiţii iniţiale, asociate legilor fundamentale ale geometriei şi ale fizicii. Aceasta cu atît mai mult cu cît ea acumulează mai multă ignoranţă în privinţa acestui punct unic care scapă prin definiţie oricărei atingeri, făcînd în acelaşi timp ca întregul „trecut" anterior să se cufunde într-o obscuritate definitivă, să fie conceput ca existînd înaintea timpului sau ca o eră inaccesibilă a istoriei fizice.

Infinitatea devenirii cosmice, exprimabilă într-o multitudine de procese complicate, bizare şi imprevizibile, dar înlănţuind într-un ansamblu ordonat toate evenimentele după o urzeală temporală neîntreruptă, oferă o imagine în aparenţă mai liniştitoare. Graniţa dintre cunoaştere şi ignoranţă, în loc să capete înfăţişarea unui zid de netrecut, se fragmentează într-o mulţime de trasee locale, care pot fi deplasate şi rectificate indefinit, cu mijloacele mereu mai puternice ale harnicei şi neobositei furnici ştiinţifice. În realitate însă, această siguranţă este destul de fragilă. Dacă timpul este infinit, nu există nici un motiv serios pentru a presupune că întreg ansamblul devenirii cosmice este omogen şi regulat. În perspectiva infinitului, orice cunoaştere devine instantanee, deci iluzorie. Oricît de abisal ar fi infinitul matematic, există o anumită regularitate care, prin definiţie, ne permite să-l stăpînim într-un anumit sens; a miliarda zecimală a lui π este totuşi o zecimală. Dar infinitul fizic, luat în serios, scapă oricărei legi. Lanţul infinit de cauze şi efecte pe care îl refuză la Kant, în numele pretenţiilor raţiunii, partizanul tezei, nu este decît o figurare moderată a infinitei ignoranţe pe care o implică infinitul timpului fizic. Preferinţa fizicianului pentru antiteză nu are deci o justificare prea solidă. La drept vorbind ea nu este nici măcar epistemologică, ci ar fi mai curînd etică, provenind într-un fel din igiena sa mentală.

Raţiunea nefiind aici împăcată cu sine, nu este deci de mirare că în dezbatere au fost investite valori religioase, că reapariţia la orizontul reprezentării raţionale a naturii, a imaginii originilor a făcut să se nască în secret speranţa sau teama unei interpretări a ideilor cosmogonice în sensul teologiei. Aceasta pentru că pentru spiritele formate în respectul sau derîderea dogmelor iudeo-creştine — adică, pe scurt, pentru cvasitotalitatea membrilor colectivităţii ştiinţifice a secolului al XX-lea — ideea unei origini a Universului nu poate să nu evoce conceptul creaţiei *ex nihilo* a lumii, pe care gîndirea antică şi medievală a sfîrşit prin a-l degaja din confruntarea dintre speculaţiile filozofiei greceşti şi mitologia biblică. Oricine „se gîndeşte la aceasta", cu atît mai mult cu cît

natura *singulară* a originii în cosmologia modernă permite oarecum să se găsească un echivalent matematic al acestui aspect misterios şi transcendent în raport cu raţiunea umană, pe care tradiţia creştină îl conferă actelor divine în general şi acestuia în special. Dar, cum este şi natural în prezenţa unui asemenea anacronism, discuţia este în general ocolită şi se hrăneşte mai ales din subînţelesuri şi neînţelegeri, din sugestii şi suspiciuni.

La drept vorbind însă, lăsîndu-i la o parte pe cîţiva vulgarizatori şi apologişti, foarte puţini oameni de ştiinţă competenţi şi care-şi recunosc deschis credinţa creştină au presupus în mod explicit o echivalenţă între singularitatea iniţială a teoriilor cosmogonice şi creaţia propovăduită de dogmă [1]. Milne a afirmat-o în toate ocaziile, dar Eddington, deşi creştin declarat, nu a avut niciodată în vedere altă posibilitate cosmologică decît modelul Lemaître-Eddington, care nu presupunea nici o singularitate. Pe de altă parte, din motive complexe, în acelaşi timp ştiinţifice, religioase şi estetice, el s-a opus în mod explicit identificării creaţiei de care vorbeşte dogma cu starea iniţială a modelelor relativiste [2]. Lemaître, primul autor în ordine cronologică al unei cosmogonii în care Universul, şi odată cu el timpul, începe într-o stare singulară la distanţă finită în trecut, a păstrat mult timp tăcere asupra posibilităţii de a înţelege „atomul primitiv" ca primul stadiu al unei lumi abandonate sieşi de către creatorul ei. Cînd s-a hotărît să rupă tăcerea, aceasta a fost pentru a declara, vorbind despre teoria sa, „că ea este în întregime străină oricărei probleme metafizice sau religioase...", că ea „îi lasă materialistului libertatea de a nega orice fiinţă transcendentă..." şi că „...pentru credincios, ea exclude orice încercare de familiaritate cu Dumnezeu, în acord cu spusele lui Isaia, vorbind despre Dumnezeul ascuns"[3].

Cît despre Gamow, el vorbeşte despre creaţia Universului, însă mai curînd în maniera unui grec decît în cea a unui creştin, aşa cum precizează el însuşi atunci cînd scrie în legătură cu criticile ridicate de folosirea acestui cuvînt: „Autorul dă acestui termen,

---

[1] Îl cităm, printre ei, pe E.T. Whittaker, care scria „Dogma creaţiei nu a putut fi combătută niciodată în mod serios altfel decît prin afirmaţia că lumea a trebuit să existe dintotdeauna, într-o stare mai mult sau mai puţin asemănătoare cu starea sa actuală. Dar, în prezent, în faţa faptelor, nimeni nu mai poate vorbi astfel. Evenimentele care pentru noi sînt cele mai interesante din istoria Cosmosului trebuie situate în timp, între creaţie şi secătuirea finală..." în *Le commencement et la fin du monde*, trad. Humbert, Albin Michel, Paris, 1953, p. 90.

[2] Aceasta i-a dat lui Russell ocazia de a-i atribui o trăsătură pe care Eddington a primit-o destul de prost. Vezi lucrarea noastră *Philosophie et Théorie physique chez Eddington.*

[3] *L'Hypothèse de l'atome primitif et le problème...*, în *La Structure et l'Évolution...*, *op. cit.*, p. 7.

nu sensul de „fabricare a ceva pornind de la nimic", ci mai curînd de „fabricare a ceva pornind de la un material inform", așa cum se vorbește, de exemplu, despre „ultima creație a modei pariziene"[1].

Dealtfel, în teoria lui Gamow, singularitatea originară nu este un adevărat început și, în mod vizibil, Gamow nu se preocupă de teologie.

Nici noi nu ne vom preocupa.

d. Dacă interpretările „tari" ale originii angajează gîndirea într-o dialectică destul de încurcată, interpretările „slabe" nu fac decît să deplaseze problema. Mai întîi, în ceea ce privește posibilitatea unei periodicități cosmice, ne găsim în fața unei alegeri ale cărei elemente le reamintim pe scurt : sau periodicitatea este înțeleasă în sens strict (identificarea începutului și sfîrșitului perioadei) și timpul se închide — dar atunci, așa cum am spus, însăși temporalitatea existenței fizice devine de neînțeles. Sau perioadele cosmice se succed într-un timp infinit — dar aceasta nu are sens decît dacă periodicitatea se suprapune unei evoluții ireversibile (fără de care ar trebui să revenim la timpul newtonian existent în sine, independent de evenimentele care se petrec). Or, chiar această ipoteză slabă a periodicității se lovește de dificultăți de principiu serioase.

Într-adevăr, dacă evoluția cosmologică este ciclică, faza actuală de expansiune a fost *precedată* și va fi *urmată* de o fază de contracție, de care se deosebește pentru că ipoteza timpului închis este eliminată. Trebuie deci ca, „sub" pulsația cosmologică, dacă se poate spune așa, să se scurgă un același curs al timpului, deci o aceeași secvență de evenimente cosmice, sau de evenimente locale, integrabile din aproape în aproape într-o aceeași secvență cosmică. Sîntem conduși deci în mod natural la presupunerea că sensul termodinamic va rămîne același de la o fază la alta a pulsației. Dar se poate într-adevăr concepe așa ceva? Din cele expuse mai înainte, avem toate motivele să spunem că sensul termodinamic este „același" cu sensul expansiunii. Ce se va întîmpla atunci în timpul contracției? Dacă se admite raționamentul lui Gold, pulsația este imposibilă, întrucît, contracția fiind *același lucru* cu expansiunea, ea nu ar putea nici să o preceadă, nici să îi urmeze. Dacă refuzăm această consecință, trebuie să arătăm că o fizică a contracției este compatibilă cu termodinamica. Probabil că acest lucru nu ar fi prea ușor; cu o deplasare spre violet care ascultă de legea lui Hubble, astronomia ar fi confruntată cu un superparadox al lui Olbers...

---

[1] *La Création de l'Univers*, trad. G. Guéron, Dunod, Paris, 1956, p. VIII.

Notăm însă în treacăt că această dificultate nu este deloc ridicată de modelul newtonian în rotaţie al lui Heckmann, în care inversarea contracţiei în expansiune se poate face fără singularitate.

e. Mulţi astronomi par dispuşi să se mulţumească pur şi simplu cu o negare neprecizată a stării iniţiale. Acesta poate fi privit ca un mod rezonabil de a se debarasa de o dialectică considerată jenantă, ba chiar sterilă. Totuşi o eschivare nu trebuie confundată cu o rezolvare. Trebuie însă să ţinem seama că dacă, odată cu starea iniţială, negăm însăşi realitatea unei istorii cosmice, adică posibilitatea unei aplicări universale a relaţiei înainte-după, ne găsim într-o opoziţie neplăcută cu puternicele presupuneri asupra ireversibilităţii pe care le-am subliniat, în care caz reapare enigma sensului local al timpului. Dacă, pe de altă parte, admitem istoria cosmică, contestînd totuşi starea iniţială, ca în modelul Lemaître-Eddington sau în universurile lui Heckmann, în care singularităţile metricii pot fi depăşite fără o adevărată ruptură a cursului evenimentelor cosmice, atunci condiţiile iniţiale ale evoluţiei universale sînt îndepărtate la infinit. Rezultă de aici un punct de vedere mai satisfăcător? Este imposibil să se dea un răspuns motivat *in abstracto*, dar în ceea ce priveşte modelul Lemaître-Eddington, am arătat motivul pentru care era dificil să i se asocieze o reprezentare cosmogonică satisfăcătoare: această constatare este cea care l-a condus pe Lemaître acum treizeci de ani la „atomul primitiv"...

f. În sfîrşit, dacă ne este permis să ne exprimăm o părere, preferinţa noastră se îndreaptă spre teoria stării staţionare (indiferent dacă este vorba de versiunea lui Bondi sau de cea a lui Hoyle), pentru că ea pare să ofere cea mai elegantă rezolvare pentru toată această dialectică[1]. Într-adevăr, această teorie neagă starea iniţială, menţinînd totuşi devenirea în Univers. Ea permite multiplicarea la infinit a proceselor locale, unificate totuşi de o aceeaşi trecere a timpului şi integrate în permanenţa înfăţişărilor cosmice la scară mare. Ar mai trebui ca teoria stării staţionare să se dovedească capabilă să explice faptele observate cel puţin la fel de bine ca celelalte teorii şi să poată depăşi dificultăţile specifice pe care le întîlneşte.

Remarcile precedente au fost poate suficiente pentru a-l convinge pe cititor că avem de-a face mai mult cu o *dialectică* a origi-

---

[1] În prezent, odată cu abandonarea unanimă a teoriei stării staţionare în urma evidenţelor observaţionale, desigur că şi autorul a trebuit să renunţe la această preferinţă a sa. — *N.T.*

nilor decît cu o *problemă* a originilor. Dacă lucrurile stau astfel, se pune imediat întrebarea : de ce această dialectică? Sînt posibile două tipuri de răspunsuri :

α. Această dialectică nu este decît o aparenţă datorată unui anumit amestec, întîmplător şi trecător, de cunoaştere şi de ignoranţă.

β. Dialectica ţine de natura lucrurilor.

În favoarea tipului (α) se poate invoca precedentul istoric al primei antinomii kantiene : dacă aceasta a fost privată de jumătate din sensul său, aceasta se datoreşte numai progresului geometriei. Într-adevăr, antinomia începutului în timp şi cea a limitei în spaţiu s-au separat mai întîi una de alta ; în modelele moderne ale cosmologiei, finitudinea în spaţiu şi finitudinea în timp sînt independente una de alta (prima depinde de k, cea de-a doua de $R(t)$). Pe de altă parte, antinomia limitei în spaţiu a încetat să mai fie o antinomie în contextul geometriei moderne, pentru a deveni o simplă problemă pentru care se poate concepe o soluţie pozitivă. Această sfărîmare a unei situaţii conceptuale pe care Kant o credea indisolubilă în caracterul său antinomic ne poate face să ne îndoim că ar exista ceva metafizic în dialectica originilor, aşa cum o concepem astăzi.

Totuşi, raţionamentul poate fi inversat, din punct de vedere dialectic, în favoarea tipului (β). Într-adevăr, separarea primei antinomii kantiene poate însemna că atunci cînd considera că conceptele de timp cosmic şi de spaţiu cosmic sînt antinomice dacă sînt *luate împreună*, Kant greşea, dar că el avea totuşi dreptate să creadă că conceptul de istorie integrală este efectiv antinomic. Dealtfel, s-ar putea ca, recitind argumentaţia primei antinomii, să ne convingem că de fapt dialectica timpului este fundamentală şi că dialectica spaţiului este derivată din ea, poate în mod fals.

Asimetria timpului este în acelaşi timp cea mai universală dintre caracteristicile naturii şi poate cea mai înrădăcinată dintre cele ale gîndirii. Deoarece gîndirea raţională, destinată să vizeze atemporalul, nu poate îmbrăţişa dintr-o singură privire totalitatea obiectelor sale, este constrînsă să se desfăşoare în secvenţe nu întotdeauna reversibile, aşa cum o arată însăşi forma simbolurilor logicii. Se schiţează o nouă mişcare dialectică : explorînd consecinţele ipotezei că ireversibilitatea este cosmologică, ajungem în final la ipoteza contrară, că ea este epistemologică... Dar ne vom abţine să explorăm acest aspect al problemei şi ne vom mărgini la o concluzie sceptică sau agnostică care invită la suspendarea judecăţii, nu numai în problema de a şti dacă „a existat" efectiv o stare iniţială a Universului, aşa cum „au existat" gheţari în regiu-

nea Lyonului şi o supernovă acolo unde se vede nebuloasa Crab, dar chiar şi în problema de a şti dacă întrebarea poate avea vreun sens şi nu ascunde cumva un nonsens.

Preferinţa noastră s-ar îndrepta spre imaginea unui timp care se scurge pretutindeni şi fără încetare, fără început sau sfîrşit — chiar dacă nu fără mîine şi fără ieri, ca dragostea la care visa poetul (căci aceasta nu ar mai fi timpul) — în care existenţa nu se perpetuează decît prin devenirea sa şi prin reînnoirea sa neîncetată şi faţă de care pretenţiile făuritorilor de imperii şi ale exploratorilor lumilor apuse par la fel de derizorii ca şi zborul uşor al efemerului.

Capitolul IX

TEORII COSMOGONICE

Gîndirea cosmogonică este în plin avînt. Expunerea noastră ar fi deci incompletă dacă nu am da cîteva indicații privind ipotezele, rezultatele și problemele care stau astăzi la dispoziția celor care își pun întrebări asupra istoriei Universului, sau a marilor structuri cosmice.

Totuși, de data aceasta vom avea cu totul alt scop și altă metodă decît în capitolele precedente. Cosmologia structurală este centrată în întregime pe cîteva probleme destul de bine delimitate. Chiar fără o inventariere completă, ar fi totuși posibilă o trecere în revistă a diferitelor tipuri de soluții încercate pînă acum și o analiză epistemologică detaliată. Dar cercetarea cosmogonică, așa cum se prezintă la ora actuală, nu permite și nici nu cere dealtfel o astfel de prezentare. Ea a devenit prea diversificată pentru a putea oferi o vedere de ansamblu[1].

Pe măsură ce se acumulează datele de observație și crește finețea metodelor de investigație teoretică, cosmogonia devine din ce în ce mai specializată și, în același timp, din ce în ce mai dependentă de tot restul fizicii. Dar deși se găsește în fața necesității, destul de caracteristice, de a împrumuta din toate specialitățile, cercetarea cosmogonică își păstrează totuși un stil, precum și o anumită savoare destul de originală, pentru că se simte confluența unei științe tinere cu niște speculații vechi, a unor gînduri arhaice cu cea mai fină punere la punct a celor mai noi idei — amintin-

---

[1] Cel mai complet studiu publicat pînă acum cu privire la geneza elementelor este studiul lui E. M. și G. R. BURBIDGE, W. A. FOWLER, F. HOYLE, *Synthesis of the Elements in Stars*, Rev. Mod. Phys., 29, 1957, pp. 546–650, care se întinde pe mai mult de o sută de pagini și în care sînt citate mai mult de două sute de articole, dintre care cel mai vechi datează din 1929, marea majoritate fiind posterioare anului 1950. Trebuie să ținem seama și de faptul că discuția este centrată pe o ipoteză definită și că lucrările inspirate din alte ipoteze nu sînt întotdeauna citate. Bineînțeles că, după 1957, literatura s-a mai îmbogățit.

du-ne parcă de acele stele pe care astrofizica le descrie ca începînd să lucească în tresăririle unei copilării turbulente și în care se agită totuși atomi foarte vechi, vestigii ale unor lumi dispărute.

Ne vom mărgini pînă la urmă să evidențiem cîteva teme dominante ale cosmogoniei moderne, să notăm anumite contradicții profunde care o animă și o polarizează, și să evocăm cîteva teorii sintetice, în care cosmogonia, înțeleasă în sensul său deplin, se asociază strîns cu cosmologia structurală. Primele noastre reflecții vor fi consacrate temei *creației*.

A. Temele cosmogoniei moderne

I. Declinul substanței și „creația"

Pe tot parcursul paginilor precedente am fost forțați, fără vreo intenție sistematică, să mărim numărul remarcilor care, în primă aproximație, ar putea fi grupate în cadrul gîndirii cosmologice moderne sub titlul de „declinul materiei", sau, mai exact, „declinul substanței".

L-am văzut, de exemplu, pe Einstein eșuînd în încercarea sa de a da o expresie completă și definitivă principiului după care între existența masei-energiei și structura metrică a spațiu-timp-ului există o legătură cauzală necesară și suficientă, apoi l-am văzut pe de Sitter descoperind, spre surprinderea generală, că în teoria relativității Universul vid poate avea proprietăți dinamice. Am remarcat de asemenea că există un itinerar matematic indirect, sinuos și destul de îngust, dar totuși bine trasat care, pornind de la reforma einsteiniană a cosmologiei — efectuată, cum am văzut, după principii substanțialiste și în ipoteza unui Univers static — duce la ideea generării continue. Într-adevăr, prima cosmologie a lui Einstein se baza pe adăugarea termenului în Λ în ecuațiile cîmpului, dar, cu termenul în Λ, Universul lui de Sitter constituia o soluție care, pusă sub forma robertsoniană, nu mai era vidă, rămînînd totuși, dacă se admite generarea continuă, staționară.

Am constatat că sub efectul conjugat al progreselor teoretice și observaționale interesul s-a transferat, în cosmologie ca și în alte domenii, de la problemele masei la cele ale radiației. Milne a arătat, cu oarecare succes, cum poate fi impusă o viziune berkeleyană a Universului, în care logica realului se identifică din principiu cu cea a aparenței. Pentru astrofizicianul modern, oricît de materialist se vrea, este incontestabil că materia stelei se transformă în radiație și că, într-un anumit fel, ea se *dematerializează*. În

sfîrşit, am văzut apărînd, cu mai puţin de douăzeci de ani în urmă, primele teorii în care generarea de materie-energie *ex nihilo* devine un fenomen fizic continuu, ceea ce privează materia-substanţă de privilegiile sale antice şi mai ales de perenitate.

Cu toate că aceste aspecte diferite ale declinului materiei nu au legături evidente între ele, creşterea numărului lor nu este desigur întîmplătoare. Ele reprezintă probabil expresia aceleiaşi transformări profunde a conceptelor şi principiilor de bază ale filozofiei naturale.

Ceea ce ne propunem să arătăm acum este că conceptul de generare continuă — cu tot caracterul lui de presupunere — este totuşi cea mai recentă dintre breşele făcute de gîndirea modernă în edificiul substanţialismului fizic şi, în această privinţă, rezultatul unei evoluţii foarte lungi, care depăşeşte cu mult cadrul istoric şi epistemologic al prezentei lucrări [1].

Opera unui mare filozof continuă să se îmbogăţească mult timp după ce autorul ei a încetat să mai trăiască fizic. Istoria dezvăluie în ea un sens care exista fără ca totuşi cineva să fi putut să-l sesizeze efectiv la început. Maurice Merleau-Ponty a spus tot ceea ce se poate spune cu privire la acest *impensé* al marilor filozofi. Putea fi oare înţeles cu adevărat, înainte de fizica relativistă, ceea ce Kant oferea efectiv gîndirii atunci cînd propunea ca cele trei „analogii ale experienţei" — principiile substanţei, cauzalităţii şi acţiunii reciproce — să fie derivate din cele trei „moduri" ale timpului — permanenţa, succesiunea, simultaneitatea? Desigur că nu, pentru că teoria timpului dată de Kant ca evidentă aprioric este de fapt solidară cu mecanica newtoniană şi cu toate postulatele acesteia, or tocmai aceste postulate trebuiau repuse în discuţie pentru a apărea clar raportul între ideea de secvenţă temporală şi cea de cauzalitate fizică.

În contextul kantian, mai ales, deducerea apriorică a principiului permanenţei substanţei, pe care însuşi Kant îl asocia cu principiul conservării masei al lui Lavoisier, nu putea fi decît o confirmare pentru gîndirea fizică modernă în căutarea fundamentelor sale, în certitudinea ei că avînd la dispoziţie conceptul de masă şi principiul de conservare, dispune de un absolut la care puteau fi raportate întotdeauna în ultimă instanţă descrierea şi explicarea fenomenelor. Desigur, din punctul de vedere al lui Kant, aceasta nu are sens decît în măsura în care lumea fizică este considerată ca lume a fenomenelor, ceea ce înlătură orice privilegiu

---

[1] Teoria stării staţionare fiind abandonată, considerentele care urmează şi-au pierdut interesul originar. — *N.T.*

ontologic acordat permanenţei empirice faţă de succesiunea empirică. Atemporalitatea expresiei „Eu gîndesc” nu este tocmai cea a „durabilului”, iar permanenţa naturală are loc *în* timp. Totuşi, în *Critica raţiunii pure* totul încuraja, în această privinţă, alunecarea „realismului empiric” spre „realismul transcendental”. Într-adevăr, dacă principiul permanenţei substanţei dă loc unui paralogism, aceasta se datoreşte faptului că acest principiu este aplicat sufletului şi nu naturii. Dimpotrivă, aplicarea sa la lumea fizică este atît de legitimă încît el serveşte ca principiu pentru „respingerea idealismului”. În acelaşi timp în care golea noţiunea de cauzalitate de orice semnificaţie ontologică, Kant contribuia la consolidarea substanţialismului masei şi al inerţiei sub imperiul căruia fizica îşi lua avînt.

Este adevărat că o privire retrospectivă poate scoate în evidenţă faptul că dezagregarea principiului substanţei începe devreme şi că încă în cursul secolului trecut apăreau numeroase semne, fără îndoială mai vizibile pentru noi decît pentru contemporanii lor. Formula explicită a principiului conservării energiei, atît de dificil de găsit, evidenţiază o formă pur numărabilă, nesubstanţială a permanenţei, iar expresia (încă şi mai dificilă) a unui principiu complementar de degradare face să reiasă deosebirea dintre permanenţa ontologică şi permanenţa măsurabilă.

Paralel apare şi noţiunea de cîmp, cu ambiguităţile sale, datorate mai ales separării formalismului matematic folosit pentru descrierea fenomenelor ondulatorii de reprezentarea substratului lor material, ajungîndu-se pînă la urmă ca *eterul* să fie lipsit de orice proprietate fizică verosimilă. Teoria relativităţii restrînse a accentuat şi mai mult declinul substanţialismului, dînd întîietate epistemologică celei mai puţin substanţialiste dintre teoriile fundamentale, adică teoriei electromagnetismului, şi extinzînd chiar şi asupra masei definiţia energetică, măsurabilă a permanenţei.

Triumful atomismului poate fi desigur considerat ca o reîntoarcere victorioasă a materialismului substanţei masive. Aceasta nu este însă decît o iluzie, căci întreaga dezvoltare a microfizicii experimentale şi teoretice va demonstra totala inadecvare a intuiţiilor substanţialiste la nivelul atomilor. Formalismul ondulatoriu, care gonise eterul, sfîrşea prin a priva materia de trăsăturile sale cele mai caracteristice în aparenţă, cea de extensiune, de localizare, de impenetrabilitate. În acelaşi timp, fizica experimentală dovedea că există transformări în care masa este preschimbată în energie — şi reciproc — dar că materializarea energiei este un fenomen mult mai rar decît fenomenul invers şi, în consecinţă,

că simetria de calcul a faimoasei ecuații a lui Einstein, $E = mc^2$, capătă o asimetrie esențială.

Știință a observației directe, obișnuită de multă vreme să-și caute adevărul mai curînd în ordonarea aparențelor decît în descrierea lucrurilor „așa cum sînt", astronomia a avut întotdeauna motivele sale proprii de a prefera lumina — pentru ea o dată imediată — materiei — presupunere îndepărtată. Totuși, la începutul secolului al XIX-lea fenomenalismul său tradițional părea definitiv înăbușit de suita de succese ale dinamicii. De acum înainte aștrii erau mai bine înțeleși ca centri de inerție și de atracție gravitațională decît ca surse de lumină. Descoperirile lui Fraunhofer, cu toate că conțineau întreg viitorul îndepărtat al astrofizicii, nu au cunoscut succesul public de care s-a bucurat nebuloasa lui Laplace și, mai tîrziu, pendulul lui Foucault sau descoperirea matematică a „perturbatorului" invizibil al planetei Uranus.

Dar în secolul al XX-lea mecanica cerească a încetat să mai domnească în astronomie, lumina reluîndu-și toate drepturile. Nu este deci de mirare că tocmai în cosmologie s-a schițat o repunere în discuție a principiilor substanțialismului, odată cu ipoteza generării continue de materie-energie. Ceea ce mai avea substanțial în el principiul de conservare este la rîndul său antrenat în devenire.

După cît se pare, primele sugestii în acest sens sînt datorate lui Jeans, urmat la scurt timp de Milne. Jeans, a cărui operă științifică este preludiul întregii cosmogonii moderne, a fost marele crainic al dematerializării, într-o epocă în care probele experimentale nu erau încă destul de puternice pentru a învinge prejudecățile substanțialiste. În plus — cel puțin într-un pasaj, pe drept cuvînt celebru și deseori citat, destul de neașteptat în contextul în care se află, în care este vorba de forma spirală a galaxiilor — Jeans a sugerat că din centrul spiralelor ar putea fi injectată în mod continuu în spațiu materie nouă [1]. În textul lui Jeans nu este deci încă vorba de generare *ex nihilo*, pentru că materia-energia este transferată într-un anumit fel dintr-o regiune inaccesibilă a Universului în cea pe care o cunoaștem.

---

[1] „Presupunerea la care sîntem conduși oarecum insistent este aceea că centrele nebuloaselor sînt de natura „punctelor singulare", unde materia este aruncată în Universul nostru, pornind de la o altă dimensiune spațială, în întregime exterioară, astfel încît pentru locuitorii Universului nostru, ele apar ca puncte în care materia este creată în mod continuu" (*Astronomy and Cosmogony*, Cambridge, 1928, p. 352). Odată cu descoperirea recentă că adevăratele nuclee ale spiralelor apropiate sînt condensări extrem de mici, de dense și de strălucitoare și care pot exploda, presupunerea lui Jeans recapătă o anumită actualitate.

În ceea ce-l priveşte pe Milne, el vorbeşte despre generarea continuă într-un mod destul de deosebit de cel al lui Jeans. Este într-adevăr o ipoteză de care se teme. El se teme chiar atît de mult încît a eliminat aprioric orice model de univers care ar părea că o admite şi a fost primul care a sesizat această aparenţă în anumite modele ale cosmologiei lui Friedman, pe care Einstein o explicita în acea perioadă [1]. Atît Jeans, cît şi Milne aveau deci în vedere aparenţa generării continue — unul părînd că o doreşte, celălalt eliminînd-o deliberat — şi nu realitatea ei.

Dar cîţiva ani mai tîrziu generarea reală de materie-energie, *ex nihilo*, avea să fie presupusă în condiţiile despre care am vorbit — sugerată de Dirac, afirmată deschis de Jordan, apoi de Bondi, Gold şi Hoyle. Ceea ce trebuie subliniat o dată în plus este că în aceste teorii cosmologice generarea continuă este prezentată nu ca o veritabilă ruptură cu principiile tradiţionale de conservare ale fizicii, ci mai curînd ca o îmbunătăţire sau o generalizare a acestor principii.

La Jordan, generarea unor „picături" de materie, care pentru noi ia aspectul supernovelor, lasă intact bilanţul energetic al Universului, generarea masei fiind compensată din punct de vedere contabil de generarea unei energii potenţiale gravitaţionale, care trebuie socotită negativă [2]. În teoria stării staţionare energia se conservă, într-un anumit sens, cu toată apariţia continuă de noi protoni şi electroni, pentru că densitatea rămîne constantă în unitatea de volum propriu al fiecărui observator fundamental [3].

Se observă deci la aceşti autori diferiţi dorinţa de a nu rupe continuitatea progreselor fizicii şi de a-şi insera ideile în prelungirea, dacă nu în cadrul ştiinţei moştenite. Faptul că ei reuşesc în încercarea lor fără a ajunge la absurdităţi face să stîrnească impresia că sîntem poate pe cale de a depăşi o ultimă etapă pe drumul declinului substanţei şi că generarea continuă prelungeşte pur şi simplu o dezvoltare lentă a gîndirii raţionale despre natură.

Trebuie totuşi să recunoaştem elementul esenţialmente nou adus de această idee. Identificarea masei şi a energiei nu au o legătură directă cu aspectul evolutiv al Universului, cel puţin în aparenţă, pentru că asimetria dintre cei doi termeni este ascunsă de egalitatea măsurabilă. Dimpotrivă, generarea este legată direct de ireversibilitatea devenirii cosmice, fie că ea compensează de-

---

[1] *Relativity, Gravitation and World Structure, op. cit.*, § 470, p. 325, § 476, p. 327, § 493, p. 335. Vezi Anexa, VI, p. 466.

[2] Anexa, X, ec. 152.

[3] Anexa, IV, ec. 66.

materializarea stelară, fie că anulează efectele expansiunii cosmice. De aceea ea atinge mai profund ontologia care stă la baza fizicii.

Rezultă o anumită inversare a valorilor tradiţionale, care trebuie menţionată în trecere. Lumina se bucura de un vechi privilegiu, fiind considerată un mesager impalpabil al spiritului, infinit de rapid chiar după Descartes, fără greutate şi fără încetineală. Din punct de vedere termodinamic, dimpotrivă, lumina este produsul ultim al declinului energiei şi în teoriile noi materia tînără trebuie să apară sub formă de masă, căci masa face parte dintre energiile „nobile”, cu entropie mică.

II. Două teme cosmogonice: condensarea şi explozia

Gravitaţia universală, forţă atractivă, a fost prima dintre forţele fizice a cărei teorie a căpătat o formă matematică verificabilă experimental. Era deci natural ca ea să servească drept bază pentru cosmogoniile moderne, primele care, după celebrele cuvinte ale lui Laplace adresate lui Bonaparte, nu aveau nevoie de ipoteza existenţei lui Dumnezeu. Totuşi, o veche tradiţie ataşa mişcării de creare a lumii sensul unui proces de trecere de la unic la multiplu, al unei fragmentări a unităţii originare. Aceasta este o imagine prea arhaică pentru a putea fi ştearsă de vreo achiziţie, chiar decisivă, a cunoaşterii raţionale a naturii: nu este oare naşterea o smulgere? Buffon dorise chiar să se servească de gravitaţie pentru a explica cum au putut planetele fiice să se detaşeze de corpul Soarelui. Dar „factorul perturbator” pe care îl imagina el, o cometă, nu putea să aibă decît o acţiune derizorie şi cercetările contemporanilor acordau puţine şanse ipotezei Soarelui fragmentat. Ipoteza condensării a lui Laplace suportă mai bine, cel puţin în ceea ce priveşte sistemul solar, confruntarea cu calculul, cu toate că şi teoria nebuloasei solare se loveşte de mari dificultăţi.

Cu toate acestea, transformată, dar revitalizată prin confirmarea antitetică a celor doi termeni ai săi, opoziţia dintre cosmogonia condensării şi cosmogonia fragmentării şi exploziei divizează încă spiritele şi polarizează imaginaţiile. Nu încape îndoială că avem de-a face cu două imagini *valorificate* şi învestite cu valori diferite, ba chiar contrare. Adevărat sau legendar, răspunsul dat de Laplace lui Bonaparte nu este legat întîmplător de cosmogonia nebuloasei. Într-adevăr, odată risipită confuzia cartezienilor, care asociau gravitaţia unei forţe oculte, odată înţeles faptul că legea

lui Newton exprimă o interacţiune care particularizează legile mai generale ale mecanicii — şi nu dragostea materiei pentru ea însăşi — atracţia universală pare a fi cheia care permite să se înţeleagă cum se poate ordona lumea de la sine, fără intervenţia nici unui demiurg sau a vreunui impuls iniţial.

Dacă cosmogonia condensării este încă de la începuturile ei de inspiraţie raţionalistă, imaginea explozivă este, dimpotrivă, mai tulbure şi mai tulburătoare. Ea evocă o ontologie dramatică, implicînd ruptura, disocierea, degradarea. Ea evocă de asemenea discontinuitatea logică, hazardul, acumularea inexplicabilă a unor condiţii excepţionale şi improbabile. Mai empiristă şi mai agnostică, ea deschide calea tuturor formelor de transcendenţă.

Or, ca rezultat al unei dezvoltări destul de paradoxale, cele două imagini contrare, cea a condensării şi cea a exploziei, au fost fiecare consolidate de progresul cunoştinţelor. Astăzi se admite în general faptul că condensarea norilor cosmici joacă rolul principal în formarea stelelor, cu toate că lipsesc încă probele decisive, starea de tranziţie nefiind încă observată direct. S-au făcut totuşi foarte multe presupuneri şi în prezent puţini astronomi se îndoiesc de faptul că multe dintre stelele gigante şi albastre din vecinătatea noastră cosmică nu s-ar fi format recent — la scara timpului geologic — prin condensarea gazului şi a „pulberilor" răspîndite în spiralele Galaxiei.

Dar alte observaţii, nu mai puţin sigure, arată în egală măsură că şi procesele violente şi explozive, a căror durată fulgerător de scurtă se află într-un contrast vizibil cu scurgerea lentă a fenomenelor de condensare, sînt lucru curent în Univers. Supernovele, evenimente rare la scara timpului uman, dar observate totuşi din momentul în care privirea a putut atinge galaxiile exterioare, sînt desigur rezultatul unor explozii stelare ale căror cauze şi modalităţi de desfăşurare nu sînt cunoscute prea bine pînă acum, dar al căror caracter brusc şi proporţii gigantice sînt evidente. În cîteva ore explodează, într-o dezlănţuire de lumină, o structură căreia i-au trebuit milioane de ani pentru a se forma.

Intensitatea extraordinară a anumitor surse radio îi făcea de multă vreme pe partizanii cosmogoniei explozive să se gîndească că s-ar putea produce explozii încă mai grandioase decît cele ale supernovelor. Această presupunere este într-adevăr confirmată în mod remarcabil de unele observaţii recente. Mai întîi, prin „nucleu" trebuie să se înţeleagă nu marele bulb luminos vizibil pe numeroase fotografii ale spiralelor, ci o mică condensare centrală, extrem de strălucitoare, care cu ajutorul tehnicilor contemporane ale fotografiei astronomice poate fi pusă în evidenţă pe imaginile



anumitor spirale apropiate — și a cărei existență în Galaxie este atestată de radioastronomie. Or, observarea atentă a nebuloasei spirale M.82, clasată de mult timp ca anormală, a confirmat faptul că nucleul acestei galaxii explodează și că cele aproximativ cinci milioane de stele pe care le-ar putea conține sînt proiectate în spațiul înconjurător, probabil în urma exploziei în lanț a unui anumit număr dintre ele.

În ceea ce privește problema evoluției Universului, care le domină pe toate celelalte, fuga nebuloaselor sugerează mai curînd o origine explozivă. Nu este deci de mirare că primele încercări moderne de cosmogonie integrală, „atomul primitiv" al lui Lemaître și *ylem*-ul lui Gamow, au fost de gen exploziv, bazîndu-se și una și cealaltă pe modelele relativiste robertsoniene, care admit o origine singulară. Dar, și într-un caz și în celălalt, a trebuit să se facă apel, într-un mod mai mult sau mai puțin fericit, la condensarea prin gravitație pentru a se explica nu numai formarea stelelor, dar și a galaxiilor și a roiurilor de galaxii.

Dificultățile care rezultă de aici, mai ales în teoria lui Gamow, scot în evidență faptul că dacă dorim să ne reprezentăm destinul Universului în ansamblul său, concilierea celor două procese contrarii nu este atît de ușor de imaginat, cu toate că, „local", succesiunea, juxtapunerea sau alternanța transformărilor de tip opus sînt perfect imaginabile. S-ar putea, de exemplu, ca în fenomenul de supernovă catastrofa să fie precedată și determinată de o condensare extrem de rapidă, o adevărată „implozie" a părții centrale a stelei : regiunile mai puțin profunde, mai puțin avansate în ciclul transformărilor nucleare ar fi aduse dintr-o dată, prin această contracție bruscă, la temperaturile enorme din centru și ar exploda.

Oricum ar fi, se poate observa că imaginea cosmogonică explozivă a exercitat un fel de fascinație asupra spiritelor îndrăznețe și aceasta independent de poziția lor față de problemele ultime ale cosmogoniei. Nu numai Lemaître, Gamow sau Jordan și-au găsit în această imagine una din sursele de inspirație, dar ea domină de asemenea gîndirea cosmogonică a lui Ambarțumian.

Este adevărat că și condensarea își are aventurierii ei, dar este vorba mai curînd de o aventură a rațiunii : autorii teoriei stării staționare, cu toate că acordă un rol important în sistemul lor cosmogonic catastrofelor locale — exploziile de supernovă putînd realiza, după părerea lor, toate condițiile necesare genezei atomilor grei — atribuie totuși condensării rolul cosmogonic primordial. Hidrogenul care ia naștere este, în teoria lor, împrăștiat în spațiu ; din imensul nor cosmic, reînnoit indefinit prin

generare continuă, trebuie să se formeze nu numai stelele, dar şi galaxiile şi roiurile de galaxii.

Modelele de univers în care materia se conservă în sens clasic sînt ameninţate, din cauza expansiunii, de o dispersare prea rapidă şi iremediabilă. În aceste modele, geneza prin condensare a unor structuri mari, destul de compacte pentru a fi stabile în raport cu expansiunea, nu poate avea loc decît în condiţii momentane şi precare. Datorită reînnoirii indefinite a materiei primare difuze, teoria stării staţionare face mai bine faţă acestei dificultăţi. Dealtfel, apare imediat o altă dificultate. Din momentul în care s-a format o condensare mare de materie, ea trebuie să se îmbogăţească indefinit cu materia nouă care se formează în interiorul şi în vecinătatea sa. Este deci îndoielnică existenţa unei limite superioare a masei sau a luminozităţii sale, pentru că în interiorul condensării materia difuză este destinată transformării în stele. Deoarece timpul este infinit, ar trebui deci să existe în Univers condensări de masă şi de luminozitate oricît de mari. Cum se explică atunci că luminozitatea galaxiilor observate este de fapt mărginită [1]? Ar trebui să intervină mecanisme de fragmentare analoage celor care împiedică în fapt, cel puţin după cîte se pare, ca condensările stelare să depăşească anumite limite. Altfel spus, este poate inevitabil să se recurgă din nou la vreo formă de dispersare sau de explozie.

Astfel, antiteza dintre condensare şi explozie, opunînd scheme rivale ale imaginaţiei, este în acelaşi timp destul de profund implicată în datele problemei cosmogonice, aşa cum este aceasta plasată, cel puţin la scară mare, sub semnul dublu al expansiunii şi al gravitaţiei. Această antiteză nu duce desigur la o dialectică la fel de ineluctabilă şi de iritantă ca cea a originii. Ea îi defineşte totuşi unul din aspecte şi este destul de strîns legată de datele actuale ale problemei cosmologice pentru ca toate teoriile sintetice să ajungă la ea mai devreme sau mai tîrziu.

Teoriile cosmogonice moderne trebuie să răspundă în întregime sau parţial la un anumit număr de întrebări, pe care este util să le enumerăm în mod explicit. În esenţă, ele sînt următoarele :

— Geneza elementelor atomice pornind de la hidrogen, în aşa fel încît să explice abundenţa lor relativă în vecinătatea cosmică a Pămîntului ;

— Geneza stelelor, a grupurilor de stele, a sistemelor planetare ;

— Geneza galaxiilor şi a roiurilor de galaxii.

---

[1] G. J. WHITROW, *The Structure and Evolution of the Universe*, New York, Harper's, 1959, pp. 142—148.

În stadiul actual în care se găsește astrofizica, se poate spune că cel de-al doilea grup de probleme este cel care dă naștere ipotezelor celor mai sigure și mai precise și că ultimul este cel care ridică cele mai mari dificultăți, mai întîi datorită amplorii și distanței sistemelor respective, datorită ignoranței aproape totale care încă domnește în ceea ce privește materia intergalactică, ca și datorită unei cunoașteri imperfecte a tuturor elementelor importante ale structurii galaxiilor. Faptul că ne găsim în interiorul uneia dintre ele nu ușurează întotdeauna explorarea, cît despre celelalte, ele sînt foarte departe. În plus, antiteza dintre condensare și dispersare este deosebit de acută în acest caz : condensarea unei galaxii nu poate avea loc decît pornind de la un „nor" care are o întindere extrem de mare, așa încît se fac simțite efectele expansiunii cosmice care nu pot fi anulate numai de gravitație. Fără îndoială că intervin și fenomene electromagnetice, dar știm atît de puțin despre ele încît este dificil să li se atribuie un rol definit în procesul genetic.

Cît despre sinteza elementelor, există două concepții opuse : una care vede în aceasta un fenomen de ansamblu, legat de o stare excepțională a materiei în Univers, poate de o singularitate a istoriei cosmice, cealaltă un proces continuu rezultînd din evoluția internă a stelelor. La ora actuală se pare că majoritatea specialiștilor înclină net spre cea de-a doua ipoteză.

B. Teorii cosmogonice

I. Cosmogonia lui Lemaître

Am vorbit de mai multe ori, într-un capitol precedent, despre opera lui Lemaître, mai întîi pentru a menționa contribuția sa la descoperirea Universului relativist nestatic, apoi pentru a defini contextul filozofic în care se situează această operă. Făcînd aceasta, am amînat totuși prezentarea teoriilor cosmogonice care i-au asigurat notorietatea în marele public și de care ne vom ocupa acum. Acest mod de a proceda poate părea artificial : dacă citim scrierile lui Lemaître de după 1931, oricare ar fi gradul lor de formalizare, vedem că problemele structurii și problemele genezei sînt strîns legate, astfel încît preocuparea de a construi o cosmogonie coerentă este predominantă. Dar dacă urmărim cu atenție dezvoltarea gîndirii lui Lemaître, constatăm că el a ajuns la discutarea problemei genezei meditînd asupra problemei structurii,

cu alte cuvinte că cosmologia l-a condus la cosmogonie. Într-un anume sens — şi tocmai acesta este sensul în care evoluţia sa este semnificativă — Lemaître a fost condus de logica internă a conceptelor cosmologiei relativiste, care impunea considerarea din punctul de vedere al timpului nu numai a conţinutului Cosmosului, dar şi a structurii sale geometrice.

Ecuaţiei lui Friedman, pe care o redescoperise, Lemaître i-a dat mai întîi o soluţie cunoscută acum sub numele de modelul Lemaître-Eddington[1], un Univers de tip Einstein, închis, eliptic (Lemaître a preferat întotdeauna varianta eliptică variantei sferice[2]), a cărui expansiune indefinită şi indefinit accelerată a început la infinit în trecut. Valoarea lui Λ este cea care defineşte Universul static al lui Einstein. Raza iniţială a Universului lui Lemaître este legată de constanta cosmologică prin relaţia dată în *Kosmologische Betrachtungen*.

Eddington a demonstrat în 1930, în condiţiile de care am vorbit, că de fapt, din momentul în care este admisă posibilitatea unei variaţii a metricii în timp, Universul lui Einstein apare într-o stare de echilibru instabil, stare pe care orice perturbaţie o poate distruge, provocînd fie expansiunea, fie contracţia[3]. Dar de ce neapărat expansiunea şi nu contracţia? Şi care este exact tipul de perturbaţie în stare să provoace transformarea modelului static al lui Einstein într-un model în expansiune, de tip Lemaître-Eddington? Aceasta este forma sub care i s-a prezentat la început lui Lemaître problema cosmogonică. Am vorbit despre preferinţa sa pentru imaginile concrete, despre interpretarea realistă pe care el a dat-o constantei cosmologice ca fiind răspunzătoare de „repulsia cosmică''. Aceasta l-a condus în mod natural la încercarea de a căuta în jocul local al forţelor opuse de atracţie gravitaţională şi de repulsie cosmică cauza mobilizării structurii einsteiniene a Universului. Dar problema este departe de a fi simplă. Ideea care se naşte dintr-o dată — şi Lemaître nu este singurul care a formulat-o — este aceea că mişcarea generală ar fi putut fi declanşată printr-o ruptură accidentală a uniformităţii cosmice, rezultată din formarea unei condensări locale sub efectul gravitaţiei. Din păcate, calculul nu confirmă net această ipoteză plauzibilă: într-un Univers static de tip Einstein, o condensare locală poate la fel de bine să provoace, după împrejurări, fie o contracţie, fie o expansiune generală.

---

[1] Vezi Anexa, VI, p. 468.
[2] Vezi Anexa, IV, ec. 43, nota 1.
[3] Vezi Anexa, VI, A, 2.

Îmbunătățindu-și ipotezele, Lemaître ajunge la unele rezultate mai încurajatoare : nu condensarea în sine ar provoca expansiunea, ci un proces consecutiv, „stagnarea"[1]. Condensarea deja formată ar absorbi energie cinetică, de unde diminuarea presiunii în vecinătate și, pînă la urmă, expansiunea. Cu toate că din punct de vedere matematic această argumentare era foarte îngrijită, ea a fost aspru criticată ca bazîndu-se pe ipoteze arbitrare. Ea se lovește în orice caz de o dificultate care apare dealtfel în orice cosmogonie globală : ceea ce observăm la scară foarte mare este, în același timp, o mișcare generală de expansiune, care dispersează materia, și condensări locale de toate mărimile—stele, galaxii și roiuri de galaxii. Ar trebui deci ca, pornind de la starea de echilibru a lui Einstein, materia cosmică să fi evoluat în același timp în ambele sensuri, expansiunea și condensarea.

Pe de altă parte, forma expansiunii în modelul Lemaître-Eddington nu este prea satisfăcătoare din punct de vedere cosmogonic, după cum a remarcat însuși Eddington : teoretic, starea de echilibru este atinsă asimptotic la infinit, mergînd spre trecut, dar curba reprezentînd pe R în funcție de t[2] are forma unei exponențiale în ramura ei asimptotică și, la o distanță foarte mică în trecut, curba coincide practic cu o dreaptă paralelă cu axa timpului. Cu alte cuvinte, procesele cosmice efective nu au putut să înceapă decît recent sau, mai mult, Universul a trebuit să rămînă, în cvasiinfinitatea timpului, într-o stare infinit apropiată de echilibrul totuși instabil al Universului einsteinian. Deși atunci cînd ne referim la materie limitele verosimilului sînt dificil de trasat, nu se poate totuși spune că imaginea cosmogonică astfel obținută ar fi prea convingătoare.

Cît despre Eddington, el nu a mers niciodată mai departe în sensul cosmologiei. Cu toate că a fost convins că trecerea timpului este o caracteristică intrinsecă naturii, dincolo de toate atributele metrice și conceptuale pe care știința umană le proiectează asupra lumii fizice, el s-a interesat mult mai puțin de problemele genezei decît de problemele structurii (poate că el considera că numai ultimele aparțin domeniului fizicii, așa cum o concepea el). Pentru a reprezenta *uranoidul*, adică *continuum*-ul metric necesar descrierii fenomenelor fizice, i-a fost suficient întotdeauna modelul Lemaître-Eddington.

Lemaître, în schimb, și-a concentrat din ce în ce mai mult atenția asupra problemei cosmogonice, dovedindu-se poate în

[1] *The Expanding Universe*, M.N.R.A.S., 9, 1931, pp. 490—501.
[2] Anexa, fig. V.

această privință mai fidel spiritului cosmologiei relativiste decît Eddington. În cursul unui colocviu asupra evoluției Universului, în 1931[1], Lemaître a schițat pentru prima dată noua sa cosmogonie, cunoscută sub numele de „teoria atomului primitiv". Mai multe căi converg spre ea. Combinarea expansiunii cosmice cu condensările locale este înțeleasă mai bine, după Lemaître, dacă se consideră că Universul a *traversat* starea de echilibru în loc să *plece* de la ea. Nu mai este vorba de a căuta cauza unei expansiuni care va fi prelungirea unui fenomen inițial, început într-o stare singulară de extremă condensare a materiei-energiei, într-o ipotetică ruptură a echilibrului. Or, Lemaître, ca și Eddington, ca toate spiritele îndrăznețe ale timpului său și ca toți cei pe care îi seducea perspectiva unei schimbări complete a decorului epistemologic și ontologic al științei pozitive, voia să folosească ideile teoretice noi ale fizicii cuantice și presupunerile bazate pe avîntul fizicii nucleare, care intra atunci într-o fază decisivă a dezvoltării sale. Primele îl conduceau la o nouă semnificație a evoluției termodinamice. Degradarea energiei îi apărea ca avînd sensul unei pulverizări în cuante din ce în ce mai numeroase și din ce în ce mai mici, luate individual. Pe de altă parte, posibilitatea transmutațiilor nucleare, stabilind o continuitate virtuală între toți atomii existenți în Cosmos, îi sugera că lanțul putea sau ar fi putut să se continue dincolo de elementele cele mai grele. Astfel a luat naștere ideea „atomului primitiv", cu caracterele sale distincte de orice altă structură materială, structură nucleară unică care concentrează toată masa Universului într-un singur nucleu atomic, structură energetică definită de un *quantum* unic, care condensează energia cosmică la nivelul său cel mai înalt. Astfel, cosmogoniei „lente", cosmogoniei laplaciene de condensare care „are loc de la difuz la condensat", i se substituia sau mai curînd i se suprapunea cosmogonia „rapidă", cosmogonia de desfășurare și de explozie, care merge „de la simplu la complex" și de la o energie nobilă la o energie degradată.

Din punct de vedere geometric, prezența în cea mai mare parte a universurilor relativiste în expansiune a unei stări singulare (modelul Lemaître-Eddington este unul din puținele modele care evită o astfel de singularitate), caracterizată — oricare ar fi topologia spațiului — printr-o extremă condensare a materiei-energiei, reprezenta prin ea însăși o încurajare pentru a se concepe o teorie de acest fel. Dar unui realist cum este Lemaître îi trebuiau indicii fizice, urme tangibile, dacă se poate spune așa, ale singularității.

---

[1] P. COUDERC, *Discussions sur l'évolution de l'Univers*, Gauthier-Villars, 1933.

El le găsește în radiațiile cosmice ; izotropia acestor radiații părea să-i sugereze în mod natural imaginea unor particule parcurgînd cercuri mari ale hipersferei einsteiniene și efectuînd „înconjurul lumii", cel puțin atît timp cît ritmul expansiunii nu face imposibilă reîntoarcerea. Dar enorma energie individuală a radiațiilor cosmice primare a fost cea care i-a părut lui Lemaître indicația cea mai sigură a originii lor. Într-adevăr, el nu putea concepe că radiații cu astfel de energie ar putea lua naștere în altă parte decît în stele. Dar dacă proveneau din stele, cum puteau ele traversa atmosferele stelare fără a-și pierde energia? Rezulta deci că erau anterioare stelelor. Pe de altă parte, presupunînd că densitatea radiațiilor cosmice este uniformă în tot Universul, Lemaître găsește că energia cinetică a acestora reprezintă o proporție slabă desigur, dar nu neglijabilă din totalitatea materiei-energiei cosmice (a suta mia parte cel puțin, poate chiar a mia parte), astfel încît trebuie să se țină seama de pierderea de energie rezultată din expansiune. Această relație importantă dintre energia purtată de radiațiile cosmice și energia condensată în masă dovedește, după Lemaître, că este vorba de un fenomen de mare anvergură, interesînd Universul în întregime[1]. Radiațiile cosmice ar fi astfel vestigiile primei faze, explozive, a istoriei cosmice, în timpul căreia materia ar fi fost identificabilă cu un fascicul de radiații cosmice. Mai tîrziu Lemaître și-a schimbat într-o oarecare măsură concepțiile privind radiațiile cosmice, dar nu a renunțat să le considere ca urme ale exploziei inițiale. Atunci cînd la Congresul Solvay din 1958 Ambarțumian l-a întrebat dacă consideră că ar exista două feluri de radiații cosmice, unele de formație recentă (a căror existență nu mai este pusă la îndoială) și vestigiile, Lemaître a răspuns afirmativ.

Pe lîngă acest indiciu major, există și alte urme ale dezintegrării atomului primitiv. Lemaître citează existența elementelor grele, a căror formare în Universul actual pare foarte problematică, sau supraviețuirea elementelor radioactive ca uraniul, efecte care i se par că nu pot fi explicate altfel.

Odată admis că radiațiile cosmice sînt cheia cosmogoniei, sînt stabilite trăsăturile mari ale istoriei Universului. Geometria este definită prin alegerea unei soluții a ecuației lui Friedman care diferă foarte puțin de modelul Lemaître-Eddington. Este suficient ca constanta cosmologică, în loc să fie exact egală cu valoarea de echilibru, să fie puțin mai mare. În acest caz, graficul funcției $R(t)$,

---

[1] *L'Hypothèse de l'atome primitif*, *op. cit.*, pp. 87—89.

în loc să fie asimptotic cu dreapta $R = R_e$, reprezentativă pentru modelul static al lui Einstein, traversează această dreaptă şi prezintă o inflexiune pentru $R = R_e$. Expansiunea începe în punctul singular $R = 0$, cu o viteză infinită. Ritmul expansiunii descreşte, apoi se anulează pentru $R = R_e$. Universul traversează starea de echilibru a lui Einstein, în care repulsia cosmică şi gravitaţia se egalează. Se produc condensări locale, dar starea de echilibru sfîrşeşte prin a fi depăşită, expansiunea reîncepe accelerîndu-se de astă dată, căci fragmentele condensate se îndepărtează unele de altele şi acţiunea gravitaţiei dintre ele scade. Este starea actuală, în care derivata funcţiei $R(t)$ este crescătoare. Rezultă că inversul constantei lui Hubble $\frac{R}{\dot{R}}$, subtangenta, este o limită inferioară pentru vîrsta Universului, adică intervalul care ne separă de originea singulară[1]. Din punct de vedere geometric, trecerea la starea de echilibru poate fi arbitrar de lungă, dar durata sa efectivă este limitată de raţiuni fizice. Lemaître nu dă nici o indicaţie numerică în ceea ce priveşte durata primei faze, situată între origine şi punctul de inflexiune, dar el consideră că ansamblul proceselor cosmice nu a putut dura mai mult de cîteva zeci de miliarde de ani (douăzeci pînă la şaizeci, după ultimele sale estimări). Numai patru miliarde de ani ne-ar separa de momentul reluării expansiunii. Raza actuală ar fi de zece ori mai mare decît raza de echilibru, iar densitatea de o mie de ori mai mică.

Celor trei părţi ale curbei le corespund trei faze ale istoriei cosmice. Adevăratul început, reprezentat geometric prin punctul de origine, nu poate fi descris de fizică; el se situează „înaintea oricărei fizici". Într-adevăr, această ştiinţă nu poate să descrie nimic în afara spaţiului şi a timpului, iar multiplicitatea spaţio-temporală este ea însăşi un rezultat al trecerii de la unu la multiplu, care caracterizează Universul în formare; semnificaţia fizică a Universului se naşte deci odată cu Universul. Din punct de vedere fizic, primele momente ale vieţii cosmice sînt totuşi comparabile cu o explozie gigantică, cu un imens foc de artificii. Există în cosmogonia lui Lemaître un aspect vizionar:

„Evoluţia lumii poate fi comparată cu un foc de artificii care tocmai se termină; cîteva şuviţe roşii, cenuşă şi fum. În picioare, pe o bucăţică de jar mai bine răcită, vedem stingerea lentă a sorilor şi încercăm să reconstituim strălucirea dispărută a formării lumilor[2]."

---

[1] Pentru a urmări mai bine descrierea precedentă, vezi Anexa, VI, C, 3; fig. VI.

[2] *L'Hypothèse de l'atome primitif*, *op. cit.*, p. 90.

Cu toate că „atomul primitiv” nu este la drept vorbind un obiect fizic, pentru că fizica nu poate descrie decît dezagregarea sa (în ordine cronologică, aceasta este prima reprezentare concretă a *singularității* inițiale), un ordin de mărime al dimensiunilor sale se poate evalua presupunînd cele 10^{54} grame ale Universului lui Einstein adunate în particule nucleare aflate în contact. Aceasta dă o sferă cu raza egală cu distanța de la Pămînt la Soare. Universul era atunci un fascicul de radiații cosmice din care nu au mai rămas decît cîteva eșantioane.

Acestea fiind admise, prima problemă cosmogonică constă în a ști cum, dintr-o stare a materiei atît de diferită de ceea ce observăm astăzi, se pot naște structuri cît de cît comparabile cu cele pe care astronomia și fizica ni le-au făcut cunoscute. Lemaître nu a dat niciodată explicații complete asupra acestui punct. Între condensarea explozivă de la origine și condensările relativ stabile pe care le observăm astăzi a trebuit să existe o stare intermediară difuză. În primele expuneri ale teoriei sale, Lemaître pare să fi avut cel puțin în vedere ipoteza după care unele dintre structurile astăzi condensate ar fi putut să provină direct din atomul primitiv; el vorbește de „steaua-atom”, de „Soarele-atom”, succedînd „Universului-atom”. El se întreabă chiar: „A fost oare Pămîntul expulzat în stare atomică de către Soarele-atom?” Dar el nu s-a oprit la această ipoteză, arătînd mai tîrziu că nebuloasele și stelele rezultă dintr-un proces de recondensare a fragmentelor dispersate ale atomului primitiv. Cosmogonia „lentă” succede cosmogoniei „explozive”.

Din fasciculul divergent de radiații corpusculare trebuie să se obțină mai întîi un fel de gaz. Aceasta presupune stabilirea unei anumite regularități în distribuția vitezelor relative ale corpusculilor. Expansiunea are loc după o lege precisă: viteza proprie a corpusculilor în raport cu reperul local de repaus scade ca $\frac{1}{R}$ (R fiind raza spațiului). Local, după un anumit timp vitezele relative ale particulelor vor deveni suficient de moderate pentru a nu mai da naștere decît la ciocniri elastice, fără fenomene nucleare sau emisie de radiații; grupările de particule vor căpăta astfel proprietățile unui gaz[1]. Acestei explicații pur cinematice a egalizării vitezelor și a formării norilor gazoși, Lemaître i-a adăugat mai tîrziu, în conformitate cu progresele astrofizicii în domeniul materiei interstelare, o explicație fizică: corpusculii inițiali sînt electrizați, mișcările lor creînd cîmpuri magnetice mobile care vor

---

[1] *L'Hypothèse de l'atome primitif, op. cit.*, p. 156.

capta corpusculii cu viteză relativă mică, contribuind la formarea condensărilor[1]. Poate că aceste condensări ar fi capabile în plus să provoace transformarea energiei cinetice a anumitor particule în masă. (Lemaître constată că, dacă radiațiile cosmice actuale, în ipoteza unei repartiții cosmice uniforme, conțin în *energie* o parte semnificativă din materia-energia Universului, în schimb *masa* lor nu constituie decît o fracțiune cu totul neglijabilă și această constatare creează evident dificultăți teoriei sale.) Astfel se încheie, în orice caz, prima fază cosmogonică. Energia radiațiilor inițiale este în medie destul de micșorată, iar materia destul de diluată pentru ca reacțiile nucleare să devină rare. O parte a materiei este condensată în nori gazoși, restul continuînd să parcurgă spațiul în toate sensurile sub formă de radiații cosmice, cu șanse slabe de a fi absorbite. Expansiunea s-a încetinit atît de mult încît acțiunea sa este aproape echilibrată de gravitație. Pentru un timp desigur lung, Universul se va afla într-o stare apropiată de cea a Universului static al lui Einstein.

În timpul acestei a doua faze cosmogonice, pornind de la norii cosmici se vor forma stelele, galaxiile, roiurile de galaxii. Se revine deci la problemele mult mai clasice, dar foarte mult studiate în epoca contemporană, ale cosmogoniei laplaceiene. Pentru Lemaître, esențial este că echilibrul Universului lui Einstein nu exclude neregularitățile locale. Expansiunii globale, cvasinulă în tot timpul acestei perioade, i se vor adăuga deci mișcări locale de condensare în regiunile în care densitatea reală depășește densitatea de echilibru. Astfel se vor forma protogalaxiile, în interiorul cărora se vor forma apoi stelele. Dar Lemaître își concentrează atenția mai ales asupra roiurilor de galaxii. Pentru el, formațiunile de grad superior sînt cele care constituie fragmente ale Universului care au persistat în stare de echilibru. Aceasta este dovedită de vitezele proprii mari ale galaxiilor componente, de absența unor condensări centrale nete. Densitatea medie în roiuri este de aproximativ o mie de ori mai mare decît densitatea cosmică[2]. Lemaître a dovedit mai multă acuratețe și precizie în studiul matematic al celei de-a doua faze cosmogonice decît în studiul primeia, cu toate că a introdus pentru studiul acestei probleme dificile — și care se pune de fapt oricărei teorii cosmogonice, fie ea chiar locală — metode și ipoteze de lucru diferite în diferitele perioade ale carierei sale.

---

[1] *L'Hypothèse de l'atome primitif et le problème des amas de galaxies*, *mem. cit.*, p. 13.

[2] Precizăm că nu s-a realizat nici pe departe un acord în privința caracteristicilor structurale ale roiurilor de galaxii. Cunoașterea lor empirică provine din observații asupra unor regiuni ultraîndepărtate.

Era actuală în istoria Universului este caracterizată de reluarea accelerată a expansiunii și de sfîrșitul marilor procese cosmogonice. Tot așa cum prima fază a expansiunii a lăsat urme sub forma radiațiilor cosmice, procesul cosmogonic major al celei de-a doua faze, condensarea gazului cosmic, nu s-a încheiat complet: au rămas formațiuni gazoase difuze în interiorul galaxiilor și probabil și în spațiul intergalactic și mai pot să se formeze încă stele.

Ca și cea mai mare parte a teoriilor genetice, fie că au ca obiect Universul, speciile vii, civilizația sau psihicul individual, cosmogonia lui Lemaître recunoaște deci în anumite forme observabile în prezent vestigii ale unor faze străvechi, atestînd o încheiere incompletă a fiecăreia dintre fazele genezei. Teoriile de acest fel acordă de obicei un anumit rol factorilor întîmplători. Diferența constă evident în aceea că în cosmogonie nu avem nici „regresie", nici „reîntoarcerea refulărilor", nici vreuna din formele de supraviețuire sau de dare înapoi care apar în geneza structurilor teleologice.

Construcția lui Lemaître este fragilă. Numai fundamentele sale geometrice sînt cu adevărat solide. Trebuie să mai adăugăm rezerva că, așa cum am explicat pe larg, alegerea unei valori definite a constantei cosmologice și alegerea semnului curburii spațiului rămîn pînă la urmă arbitrare. Partea cea mai nouă, cea mai originală și cea mai seducătoare a cosmogoniei lui Lemaître, cea care se referă la atomul primitiv și la prima fază a expansiunii, este din păcate și cea mai puțin elaborată din punct de vedere fizico-matematic. În 1931, cînd și-a lansat ideea, era normal ca Lemaître să-și pună speranțele în noua știință a nucleului atomic pentru a-și verifica, confirma și rafina intuițiile. Dar, după treizeci de ani, cu toate că fizica nucleară nu a dezamăgit în nici un fel, nu se poate spune că ar fi oferit ipotezei lui Lemaître prea multe ocazii de a se preciza și a se dezvolta. Este destul de izbitor că nici în expunerile cele mai recente ale teoriei atomului primitiv, autorul nu s-a folosit mai mult decît în cele vechi de cunoștințe dobîndite efectiv, ci numai de dezvoltări viitoare posibile ale științei; de data aceasta nu de cele ale fizicii nucleare, ci mai curînd de cele ale unei teorii fundamentale care ar face să se înțeleagă, mai bine decît în teoria lui Eddington, „natura proceselor atomice".

Lipsa aceasta a unei dezvoltări pozitive ni se pare a fi pentru cosmogonia lui Lemaître un inconvenient mai grav decît multiplele obiecții care i se pot aduce. Se știe că obiecțiile cele mai aspre împotriva *Originii speciilor* nu au distrus intuițiile darviniste și nu le-au împiedicat să domine încă teoria evoluției. Cea mai gravă dintre obiecțiile care i se pot aduce lui Lemaître este aceea că progresele marcate în cunoașterea radiațiilor cosmice au slăbit mult, dacă

nu chiar au ruinat principiul său după care aceste radiaţii nu pot fi fenomene locale şi formate recent. Numeroase observaţii arată, de exemplu, existenţa unei relaţii determinate între variaţia intensităţii radiaţiilor cosmice şi cea a activităţii solare[1]. Cu toate că problema originii şi a propagării radiaţiilor cosmice rămîne foarte controversată, teoria atmosferelor stelare nu exclude deloc posibilitatea ca ele să provină din stele. Pe de altă parte, prezenţa confirmată a cîmpurilor magnetice în Galaxie explică poate faptul că ele pot cîştiga o parte din enorma lor energie cinetică prin efecte de accelerare electromagnetică şi că cîmpurile magnetice, determinîndu-le să se rotească în toate sensurile, le conferă acea izotropie remarcabilă care este una din enigmele lor. Să adăugăm că dacă radiaţiile cosmice sînt reţinute în Galaxie datorită atracţiei magnetice, aşa cum stelele sînt reţinute datorită gravitaţiei, densitatea de energie pe care o cunoaştem nu este valabilă decît în interiorul Galaxiei şi nu este exclus ca în spaţiul intergalactic să existe o densitate cvasinulă, numai radiaţii cu energie foarte mare putînd scăpa din Galaxie. Raportul mare dintre energia condensată în radiaţiile cosmice şi energia totală a Universului ar fi în acest caz pur iluzoriu şi, odată cu el, şi concluziile pe care le trage Lemaître. În plus, concluziile lui Lemaître în ceea ce priveşte roiurile de galaxii nu au fost niciodată în acord indiscutabil cu rezultatele observaţiilor.

Am fi totuşi nedrepţi şi am neglija importanţa ei istorică dacă am aprecia valoarea cosmogoniei lui Lemaître numai din punctul de vedere al acordului cu faptele observate. Această teorie este îndrăzneaţă şi riscantă, dar este vorba, dacă putem spune aşa, de o îndrăzneală binevenită. Opera lui Lemaître este foarte importantă în măsura în care el a fost primul care a îndrăznit să tragă toate consecinţele descoperirilor cosmologiei relativiste, aducînd dovada că ştiinţa nu poate evita să privească în faţă problema cosmogonică şi că este obligată, oricît de opusă ar fi această obligaţie obişnuinţelor sale, să şi-o pună la scară foarte mare. Pe de altă parte, Lemaître a înţeles şi a făcut să se înţeleagă încă din 1931 (cînd neutronul nu era cunoscut şi originea termonucleară a radiaţiei solare nu era încă stabilită) că problemele Universului nu mai puteau fi tratate, aşa cum o făcuseră Kant, Laplace, Poincaré şi chiar şi Einstein, numai în funcţie de legea gravitaţiei, descoperirile microfizicii avînd repercusiuni inevitabile asupra

---

[1] *Encyclopédie Française*, t. II, *La Physique*, Paris, Larousse, 1955, pp. 2.70, 3—4.

reprezentării Cosmosului. Fapt este că, în orice caz, prin criticile pe care le-a suscitat, prin efortul de punere la punct la care i-a constrîns pe adversarii ca şi pe partizanii ei, teoria lui Lemaître a jucat cu siguranţă un rol mare în avîntul gîndirii cosmologice de la mijlocul secolului al XX-lea.

II. Cosmogonia lui Gamow

Teoria astrofizicianului american Gamow reuneşte într-o sinteză elegantă lucrări numeroase şi diferite. Elementele sale figurează în diferite memorii de specialitate, dar ansamblul este prezentat cu un talent excepţional, într-o mică lucrare de semipopularizare[1]. Cosmogonia lui Gamow se aseamănă în multe privinţe cu cea a lui Lemaître, care a precedat-o cu cincisprezece ani şi a influenţat-o destul de evident. Ca şi Lemaître şi spre deosebire de mulţi dintre contemporanii săi, Gamow consideră că trebuie să se folosească de „învechita" teorie a relativităţii generalizate şi ia drept cadru al intuiţiilor sale cosmogonice unul din modelele „clasice" ale cosmologiei relativiste[2]. În teoria lui Gamow, ca şi în cea a lui Lemaître, istoria cosmică începe de la un moment iniţial, caracterizat de o stare singulară a materiei-energiei. Evoluţia Universului în ansamblul său este scurtă şi este dominată complet de expansiunea spaţiului, care constituie procesul fundamental. Ea se împarte în trei faze principale, destul de asemănătoare cu cele ale lui Lemaître: o fază explozivă, în cursul căreia domină fenomenele nucleare conducînd la repartiţia actuală a materiei pe diferite specii atomice; o fază de condensare a acestei materii în stele şi galaxii şi, în sfîrşit, faza actuală, în care marile procese cosmice s-au încheiat şi care anunţă stingerea lentă a stelelor şi dispersarea la nesfîrşit a sistemului de galaxii. Teoria întîmpină dificultăţi analoage : necesitatea de a aşeza cap la cap o cosmogonie explozivă (necesară pentru explicarea formării speciilor atomice) şi o cosmogonie de condensare (indispensabilă explicării stelelor şi galaxiilor), în care nu este deloc uşor de împăcat expansiunea spaţiului cu concentrarea materiei.

Dar analogiile se opresc aici. Deşi Lemaître este inventatorul originii singulare a Universului, prima fază cosmogonică, cea nucleară şi explozivă, este punctul cel mai slab al teoriei sale. Dimpotrivă, acesta este punctul forte al teoriei lui Gamow, care

---

[1] *La Création de l'Univers, op. cit.*

[2] G. GAMOW, *On Relativistic Cosmogony*, Rev. Mod. Phys. 21, *3*, 1949, p. 367.

se sprijină pe o analiză extrem de riguroasă şi de fidelă a datelor de observaţie cu privire la problema genezei elementelor atomice, în ipoteza unei expansiuni rapide a unei materii originare formată dintr-un gaz de neutroni, foarte dens şi foarte fierbinte, repartizat uniform într-un spaţiu infinit, cu structură hiperbolică. Această analiză este rezultatul colaborării lui Gamow cu diverşi alţi autori. Ea a fost publicată în întregime, sub semnătura lui Alpher şi Hermann, într-un lung memoriu, în anul 1950 [1].

În schimb, studiul geometric este mai puţin precis la Gamow decît la Lemaître. Preferinţele lui Gamow se îndreaptă spre ultimul model al lui Einstein: constanta cosmologică nulă, spaţiul deschis de curbură negativă, ceea ce implică o expansiune indefinită, practic liniară după un anumit timp [2]. Pentru alegerea lui Λ, Gamow îşi însuşeşte argumentele lui Einstein: termenul cosmologic nu-şi avea justificarea decît în ipoteza unui Univers static, care este evident inadecvată. Totuşi, pentru a evita dificultăţile legate de scara timpului şi pentru a împinge puţin mai departe în trecut originea singulară, Gamow recurge la un expedient puţin convingător, adoptînd o valoare ad-hoc, pozitivă şi foarte mică, pentru Λ, ceea ce face ca derivata lui $R(t)$ să fie crescătoare în epoca actuală. Acesta este şi procedeul întrebuinţat de Alpher şi Hermann. Este vorba evident de un artificiu, dealtfel perfect comparabil cu cel al lui Lemaître, care, pentru a încadra geometric „atomul primitiv", alege pentru Λ o valoare puţin superioară valorii de echilibru. Inconvenientul este chiar mai mic la Gamow, deoarece dilatarea empirică a scării timpului îi permite să revină eventual la valoarea nulă a lui Λ, mai satisfăcătoare din punct de vedere teoretic.

Cît despre infinitatea spaţiului, ea este la Gamow, cel puţin la fel ca şi la Lemaître, o chestiune de părere personală şi de preferinţă, numai că în sens invers. În primul său memoriu cosmogonic, Gamow prezintă problema deschiderii spaţiale ca rezultînd cu necesitate din condiţiile cerute pentru apariţia unei condensări locale într-un gaz cosmic omogen aflat în expansiune generală (în ipoteza $\Lambda = 0$) [3]. Dar această primă teorie a condensării era incompletă şi insuficientă şi prin urmare postulatul infinităţii este prezentat ca preferabil, fără a fi vreodată justificat solid.

---

[1] R. A. ALPHER, R. C. HERMANN, *Theory of the Origin and Relative Abundance Distribution of the Elements*, Rev. Mod. Phys., 22, 2, 1950, pp. 153–218.

[2] Vezi Anexa, VI, C, ec. 70.

[3] G. GAMOW, E. TELLER, *On the Origin of Great Nebulae*, Phys. Rev., 55, 1939, p. 654.

Dealtfel, aspectele geometrice ale problemei îl interesează vizibil pe Gamow mai puţin decît aspectele fizice. Lui îi este suficient în fond să ştie că teoria relativităţii generalizate permite să se explice corect deplasarea spre roşu şi conduce la ideea atît de enigmatică, dar atît de promiţătoare, din punct de vedere cosmogonic, a originii singulare. Este ceea ce îl deosebeşte net pe Gamow nu numai de Lemaître, ci şi de cosmologii logicieni şi geometri a căror operă este contemporană cu a sa. Oricît de mare ar fi gustul său pentru speculaţiile cosmogonice şi talentul său pentru sinteză, Gamow rămîne profund marcat de formaţia sa tehnică de astrofizician.

Oricum ar fi, ideea momentului iniţial apare la Gamow într-un mod mai fizic decît la Lemaître, căci acest moment iniţial, cel al „marii compresii", cum spune Gamow, nu este începutul timpului, ci al erei actuale, care trebuie să fi fost precedată de prăbuşirea unei structuri cosmice despre care noi nu putem şti nimic [1]. Dealtfel astfel trebuie înţeles acest moment „iniţial", cu consecinţele pe care le-am discutat în legătură cu antinomia timpului: starea Universului la momentul iniţial ne permite să înţelegem tot ceea ce vedem, dar pune un ecran impenetrabil în calea oricărei încercări de a cunoaşte ceea ce s-a petrecut înainte.

Pentru Gamow, ideea momentului iniţial se impune nu numai pentru că este înscrisă în ecuaţiile cosmologiei relativiste, ci şi pentru că ea permite şi, după părerea lui, este singura care poate permite o interpretare corectă a curbei abundenţelor cosmice ale elementelor cu ajutorul legilor cunoscute ale reacţiilor nucleare. Într-adevăr, Gamow, Alpher şi Hermann consideră noţiunea de abundenţă cosmică ca bine stabilită şi fundamentală pentru cosmogonie: poate exista un tabel al abundenţelor relative care să fie reprezentativ pentru starea materiei în întregul Univers, abaterile locale faţă de datele acestui tabel putînd fi explicate prin împrejurări locale. După cum se vede, este vorba de o formă particulară a postulatului general al uniformităţii, care se regăseşte în aproape toate speculaţiile cosmologice. În consecinţă, curba abundenţelor relative ale elementelor, în funcţie de masa lor atomică, curbă stabilită empiric de către Brown în 1949, i se pare lui Gamow şi emulilor săi destul de demnă de încredere pentru a servi ca punct de plecare al oricărei inducţii asupra genezei elementelor şi ca piatră de încercare pentru orice teorie care îşi propune să explice această geneză.

---

[1] *La Création de l'Univers*, *op. cit.*, p. 30.

Trebuie să remarcăm mai întîi că, oricît de moderate ar părea la prima vedere aceste postulate, ele angajează de fapt foarte mult şi foarte strict orice cercetare asupra problemei elementelor. Este, dacă vrem, un nou exemplu al proximităţii epistemologice a problemelor cosmice în ştiinţa modernă, proximitate care contrastează atît de mult cu efectul de îndepărtare care pare a fi rezultatul cel mai evident al progreselor marcate în cunoaşterea astronomică. L-am văzut pe Einstein constrîns într-un fel la meditaţia cosmologică datorită situaţiei îndoielnice a noţiunii de *substratum* metric universal. Îi vom vedea acum pe Alpher, Hermann şi Gamow conduşi la ipoteze Cosmogonice îndrăzneţe numai de postulatul că tabloul empiric al abundenţelor atomice este semnificativ pentru starea generală a materiei cosmice.

Într-adevăr, odată admis acest postulat şi impusă cerinţa unei explicaţii genetice, Alpher şi Hermann arată, examinînd toate încercările anterioare de a explica geneza elementelor, că de fapt numărul ipotezelor plauzibile este extrem de restrîns. Este clar mai întîi că, în starea actuală a cosmosului, nu este posibil să se considere repartiţia elementelor cosmice ca rezultatul unui echilibru dinamic. Transmutaţiile nucleare sînt într-adevăr fenomene locale şi chiar foarte strict localizate. Mai mult, în momentul în care ei şi-au construit teoria, numărul transmutaţiilor care puteau fi identificate şi autentificate din cunoştinţele asupra stelelor era extrem de restrîns. Ei trebuiau să aleagă de la început : sau să considere geneza elementelor ca un fenomen trecut şi abundenţele actuale ca urma unei stări dispărute a materiei, sau să admită că abundenţele observate pot fi explicate prin fenomene locale, actualmente şi indefinit aflate în curs — cele care se produc în stele. De fapt, în prezent preferinţa astrofizicienilor se îndreaptă în general spre această ultimă ipoteză, cu toate că ea dă naştere la dezvoltări complicate şi încă fragmentare : această preferinţă se explică probabil prin faptul că, *în aparenţă*, această ipoteză nu este cosmologică şi că ea nu face apel decît la fenomene ale căror consecinţe sînt parţial observabile fie în laborator, fie în radiaţia stelelor. Trebuie totuşi să remarcăm că la Hoyle această concepţie se bazează, aşa cum vom vedea, pe o teorie cosmogonică care camuflează într-o anumită măsură inconvenientul evident de a explica un efect cosmic global prin fenomene locale, inconvenient asupra căruia insistă Gamow atunci cînd le reproşează adepţilor unei astfel de explicaţii că introduc condiţii foarte complicate pentru a obţine, pornind de la procese multiple şi eterogene, o lege acceptabilă a abundenţelor.

Pentru a evita acest inconvenient şi pentru a da o descriere cosmică unui fenomen cosmic, marile evenimente responsabile de formarea atomilor trebuie proiectate în trecut. Este ceea ce încearcă să facă Alpher, Hermann şi Gamow. Dar, din momentul în care se încearcă definirea condiţiilor fizice care au putut exista în momentul acestei geneze, apar dificultăţi importante.

Primele încercări se bazau în general pe ipoteza că abundenţele actuale corespund unei stări de echilibru care s-ar fi stabilit între elementele atomice în condiţii care permiteau producerea efectivă a tuturor reacţiilor nucleare necesare, pentru ca apoi, condiţiile schimbîndu-se brusc, acest echilibru să fi „încremenit", astfel încît să se fi menţinut indefinit proporţiile care îi corespund. Dar această ipoteză nu este într-un acord prea bun cu observaţiile. Nici o curbă a abundenţelor calculată în ipoteza echilibrului nu reproduce forma curbei empirice, mult mai bogată îndeosebi în elemente grele.

În această situaţie, ideile directoare ale lui Gamow, Alpher, Hermann şi ale altor făuritori ai teoriei sînt următoarele: să se renunţe la ipoteza formării la echilibru, pentru a fi înlocuită cu cea a singularităţii modelelor relativiste. Ei presupun deci că elementele s-au format pornind de la o stare prestelară a materiei-energiei [1] într-o fază de evoluţie metrică foarte rapidă a spaţiului, puţin după singularitatea modelului deschis, pe care aceşti autori îl adoptă pentru a reprezenta geometria cosmică. Variaţia foarte rapidă a metricii spaţiale trebuia să conducă foarte rapid — în cîteva ore — la o stare a materiei suficient de dilatată pentru ca continuarea reacţiilor nucleare generatoare de elemente să devină imposibilă. Era necesară o ipoteză asupra mecanismului sintezei nucleelor, ca şi asupra structurii materiei primare: este vorba nu de un „atom primitiv", ci de un gaz neutronic omogen. Cît despre construirea nucleelor, ea se face în esenţă (cu excepţii pentru elementele foarte uşoare) prin captură de neutroni şi degenerarea neutronilor în protoni şi electroni negativi. În acest caz cheia problemei se află în compararea abundenţei cosmice relative a nucleelor cu secţiunea lor eficace de captură a neutronilor, pentru diferite energii (într-adevăr, un nucleu are cu atît mai multe şanse de a se transforma într-un nucleu cu masa atomică mai mare, deci trebuie să fie cu atît mai rar în mod relativ, cu cît capturează mai uşor neutroni). Cele două ipoteze, materia primară identificată cu un gaz neutronic şi mecanismul de sinteză,

---

[1] Gamow numeşte această protomaterie *ylem*, inspirîndu-se dintr-un vechi cuvînt englezesc care aminteşte, evident, de ὕλη-ul filozofilor greci.

sînt evident legate una de alta : cu cît ne apropiem mai mult de origine, cu atît găsim mai mulți neutroni liberi, necapturați și nedegenerați.

Or aceste ipoteze își găsesc o bună confirmare empirică prin punerea grafică în evidență a unei relații bine definite între abundențele cosmice ale elementelor și secțiunile lor eficace pentru captura de neutroni, așa cum arată experiențele de laborator (după cum, oferind o contraprobă judicioasă, deși neașteptată, Gamow arată grafic că nu există nici o relație între abundențele cosmice ale elementelor și prețul lor comercial pe kilogram). Corelația empirică arată că pînă la masa atomică de aproximativ o sută, abundențele relative descresc exponențial, secțiunile eficace crescînd în același fel, în timp ce pentru masele mai mari de o sută, cele două variabile rămîn sensibil constante.

Pornind de aici, teoria se dezvoltă după schema următoare: modelul cosmologic este determinat în raport cu evaluarea temperaturii, a densității materiei și a densității radiației în funcție de timp, în vecinătatea originii. Materia fiind compusă numai din neutroni, singura reacție posibilă este degenerarea neutronului, apoi captura neutronului de către proton pentru a forma un nucleu de deuteriu etc., elementele formîndu-se prin captură de neutroni, în același timp în care expansiunea face ca temperatura și densitatea să scadă rapid. Ansamblul proceselor se încheie într-un timp care nu este decît de cîteva ori mai mare decît viața medie a neutronului, să zicem în total cîteva mii de secunde. Alpher și Hermann obțin ecuațiile generale ale teoriei scriind că concentrația fiecărei specii nucleare crește pe seama speciei inferioare, prin captura unui neutron, și descrește în favoarea speciei superioare prin aceeași reacție. Descreșterea concentrației neutronilor se face atît prin captură cît și prin degenerare în favoarea protonilor și electronilor.

Este necesară o serioasă muncă de ajustare pentru a face utilizabile cele aproape două sute cincizeci de ecuații ale teoriei, în special pentru a ține cont de relațiile complicate care există între energiile neutronilor și secțiunile lor de captură de către nuclee. Prin aproximații succesive și încercînd diferite valori ale unui parametru arbitrar — legat de densitatea materiei-energiei și care este imposibil de determinat aprioric — Alpher și Hermann obțin pentru abundențele relative o serie de curbe al căror aspect este foarte asemănător cu cel al curbei empirice și dintre care unele sînt chiar foarte apropiate[1].

---

[1] *La Création de l'Univers*, *op. cit.*, p. 71.

În rest, teoria explică în mod inegal diversele detalii remarcabile ale curbei empirice : ea face să se înţeleagă cu uşurinţă repercusiunile parităţilor respective ale numărului atomic şi ale numărului de masă asupra abundenţei unui element şi explică foarte bine abundenţa excepţională a nucleelor cu „număr magic", a căror stabilitate este deosebit de mare, iar secţiunea eficace pentru captura de neutroni remarcabil de slabă. În schimb alte detalii foarte importante nu sînt prea bine explicate: astfel, existenţa „picului fierului" pe curba empirică şi raritatea relativă a litiului, a beriliului şi a borului în raport cu alte elemente uşoare — raritate care cere dealtfel în toate teoriile o explicaţie deosebită.

În cosmogonia lui Gamow, ca şi în cea a lui Lemaître, după faza explozivă urmează o fază de condensare — sau, dacă ne gîndim la istoria fizicii mai curînd decît la cea a Universului, unei faze „moderne" îi urmează o fază „clasică". Căci, odată terminată „coacerea" atomilor, materia cosmică poate fi asimilată unui gaz în care au încetat reacţiile nucleare, care se răceşte şi în care densitatea radiaţiei tinde să devină mai mică decît densitatea masei, sub efectul expansiunii care face ca prima să descrească mult mai repede decît cea de-a doua. În consecinţă, după o perioadă de expansiune uniformă, care se termină atunci cînd cele două densităţi au devenit egale, factorii determinanţi ai celei de-a doua faze cosmogonice vor fi forţele mecanice tradiţionale, gravitaţia şi inerţia atomilor şi a grupărilor de atomi, cărora li se adaugă o presiune descrescătoare a radiaţiei. În cartea *La Création de l'Univers* durata acestei perioade de tranziţie era fixată la treizeci de milioane de ani. Mai tîrziu, măsurătorile lui Hubble începînd să fie contestate, Gamow a estimat ansamblul istoriei cosmice la cinci miliarde de ani, iar faza de tranziţie la a douăzecea parte din această vîrstă, adică la două sute cincizeci de milioane de ani [1].

Tabloul actual al Universului prezintă materia condensată în stele şi sisteme planetare, în galaxii şi roiuri de galaxii. Trebuie să se înţeleagă deci cum a putut evolua gazul difuz astfel încît să producă această „ierarhie a condensărilor". Aceasta nu este o problemă nouă, iar Gamow nu este nici primul nici ultimul care o pune. Totuşi, înainte de a examina modul în care concepe el rezolvarea, trebuie să facem unele remarci cu privire la legarea primei faze cosmogonice de cea de-a doua.

Într-adevăr, această legătură — dintre faza de condensare şi faza de explozie — nu este lipsită de consecinţe surprinzătoare

[1] G. GAMOW, *On the Formation of Protogalaxies in the Turbulent Primordial Gas*, Proc. Nat. Acad. Sc. U.S.A., 40, 1954, pp. 480—484.

în ceea ce priveşte scara timpului istoriei cosmice. În teoria lui Lemaître, durata primei faze cosmogonice era complet lăsată în umbră; se ştia numai că este „rapidă". În teoria lui Gamow, dimpotrivă, această durată este evaluată cu precizie şi scurtimea sa pare fantastică la scara astronomică: cîteva mii de secunde, nu mai mult de o oră, afirmă însuşi Gamow... Condensarea, în schimb — şi asupra acestui punct toată lumea este de acord — nu poate fi decît un proces foarte lung. La Gamow ea începe la treizeci de milioane de ani după origine şi continuă timp de zeci de milioane de ani: contrastul dintre ordinele de mărime este atît de izbitor, încît reprezentarea acestor două procese ca succesive pare extrem de artificială. Gamow sesizează bineînţeles această obiecţie şi răspunde judicios făcînd remarca că fizica nucleară oferă exemple ale unei astfel de „elasticităţi" în scara timpului. Reacţiile în lanţ care provoacă explozia unei bombe atomice nu durează decît cîteva milionimi de secundă, dar, mulţi ani după aceea se pot încă decela, la locul exploziei, anumite produse radioactive ale fisiunii; or raportul dintre cîţiva ani şi cîteva microsecunde este sensibil acelaşi cu cel dintre trei miliarde de ani (vîrsta actuală a Universului presupusă de Gamow) şi o oră. S-ar putea adăuga, în spiritul lui Gamow, că dacă sîntem şocaţi de contrastul dintre scările diferitelor procese cosmice, este pentru că introducem implicit în reprezentarea noastră a Universului un anumit postulat de regularitate în evoluţia cosmică. Şi, într-adevăr, un postulat de acest fel este probabil indispensabil. Cosmologia relativistă îl foloseşte în interpretarea sa a deplasării spre roşu: pentru ca acest efect să poată fi perceptibil, trebuie să presupunem identitatea perioadelor de vibraţie ale tuturor atomilor identici, dacă sînt măsurate în timpul cosmic. Studiul teoriei relativităţii cinematice ne-a arătat că se poate merge foarte departe cu subtilitatea cu privire la acest postulat al uniformităţii timpului şi la adevărata sa semnificaţie. Dar tocmai atunci cînd încercăm să-i dăm o formă compatibilă cu cuceririle ştiinţei contemporane — adică atunci cînd căutăm scara timpului fundamental în fenomenele microfizice — se impune contrastul care pare inevitabil. Gamow îi dă o formă cosmică surprinzătoare, care provoacă o atitudine sceptică, dar contrastul nu este mai puţin frapant în istoria anumitor stele aşa cum o prezintă astrofizicienii cei mai puţin speculativi, iar fenomenele extraordinare de nouă şi, mai ales, de supernovă îl face foarte spectaculos: dacă radiaţia solară pare să fi fost constantă sau să nu fi cunoscut decît variaţii slabe, lente şi regulate de miliarde de ani încoace, în schimb o stea care trece brusc la starea de supernovă radiază

în cîteva zile tot atîta energie cît radiază Soarele în mai multe zeci de milioane de ani, pentru a-şi regăsi după aceea o nouă stabilitate. Se poate deci ca impresia de arbitrar pe care o lasă, în cosmogonia lui Gamow, legătura dintre cele două procese de durate atît de diferite să nu se datoreze decît unei prejudecăţi sau unei neîncrederi ascunse faţă de imaginea catastrofei sau a paroxismului. În schimb, aprioric pare destul de artificial să proiectăm asupra Universului separarea în etape existentă în fizică, să presupunem că faza nucleară şi faza mecanică s-au succedat în istoria lumii ca în istoria ştiinţei, deşi în ordine inversă.

Teoria condensărilor a lui Gamow nu este decît una dintre numeroasele încercări făcute de treizeci de ani încoace cu mai mult sau mai puţin succes de a explica la orice scară — planete, stele, roiuri de stele, galaxii, roiuri de galaxii — formarea condensărilor pornind de la un mediu material difuz, foarte diluat şi mai mult sau mai puţin asimilabil unui gaz. Dealtfel, în cele mai multe puncte, Gamow se referă la lucrări ale contemporanilor săi, îndreptîndu-şi numai preferinţa spre unul sau altul din tipurile de cercetări care se acordă mai bine cu vederile sale generale. De fapt, ansamblul acestor probleme şi-a recîştigat considerabil interesul în ultimele decenii. Teoria formării sistemului solar pornind de la o nebuloasă rămăsese într-un stadiu speculativ atît timp cît materia interplanetară pe care stelele căzătoare o aduc pe Pămînt nu fusese sistematic studiată. Ea se lovea pe de altă parte de obiecţii teoretice care fuseseră considerate multă vreme decisive. După Poincaré ea a fost foarte neglijată. Cît despre originea stelelor, aceasta nu putea face obiectul unui studiu foarte precis atît timp cît misterul radiaţiei lor nu fusese lămurit. Odată rezolvată această problemă şi odată cu intrarea în cîmpul de observaţie şi a gazului şi a pulberilor cosmice, studiul matematic al formării şi al evoluţiei stelare putea fi iniţiat. Acest studiu a fost stimulat de descoperirea, cu cincisprezece ani mai înainte, a unor obiecte astronomice care lăsau să se creadă că formarea stelelor prin condensare continuă şi astăzi. Globulele obscure, de dimensiuni relativ reduse, observate în diferite nebuloase gazoase, ar fi stele în formare, sfere de gaz destul de concentrate pentru a deveni opace pentru radiaţia ambiantă, dar nu destul pentru ca temperatura, care creşte pe măsură ce gazul se condensează, să atingă nivelul necesar declanşării reacţiilor termonucleare[1]. Paralel, o cunoaştere mai precisă a materiei difuze din sistemul solar şi

---

[1] Se numesc „globulele lui Bok", după numele descoperitorului lor; vezi E. SCHATZMAN, *Origine et Évolution...*, *op. cit.*, p. 191.

folosirea unor ipoteze noi permit teoriilor formării planetelor prin condensare să ia un nou avînt.

Pe de altă parte, construirea progresivă, la începutul secolului al XX-lea, a puternicului arsenal matematic al mecanicii statistice furniza teoreticienilor instrumente care lipsiseră înaintaşilor lor pentru a stăpîni mai bine prin calcul imensa complexitate a dinamicii fluidelor.

Punctul de plecare şi principalele dificultăţi ale oricărei teorii a condensării la scară astronomică sînt de acum înainte bine stabilite, dar obstacolele sînt departe de a fi depăşite. Un rezultat stabilit de către Jeans arată că condensarea este posibilă, ba chiar inevitabilă la o anumită scară: din punct de vedere al gravitaţiei, condensările trebuie să se formeze şi să se menţină în mod necesar indiferent de densitate, volumul condensării fiind cu atît mai mare cu cît densitatea este mai mică. Ne putem deci aştepta ca un nor cosmic de dimensiuni suficient de mari să se contracte spontan, dar, pentru densităţile observate în general în Univers, aceste dimensiuni critice sînt foarte mari şi mult superioare celor ale unei viitoare stele. Pe de altă parte, dificultatea legată de *momentul cinetic*, care a constituit una din obiecţiile clasice împotriva teoriei laplaceiene a sistemului solar, este foarte generală şi ameninţă orice teorie a condensării: un corp care se roteşte — şi acesta este cazul pentru cele mai multe din sistemele astronomice cunoscute — îşi conservă momentul cinetic. De aici rezultă că dacă el se contractă, viteza sa de rotaţie creşte, ameninţînd coeziunea sa internă şi eventual împiedicînd continuarea condensării pînă la stadiul de stea.

În sfîrşit, cînd este vorba de condensări foarte mari, la scara galaxiilor şi a roiurilor de galaxii, apare un alt obstacol în cosmogonia relativistă: mişcarea de expansiune care, atunci cînd are o valoare semnificativă, transformă atît de mult rezultatul lui Jeans, încît impune o densitate critică, sub care condensarea nu mai este posibilă [1].

Chiar şi aceasta este o concluzie prea optimistă. Ca răspuns la primele schiţări ale teoriei lui Gamow, Lifshitz — care contestă dealtfel valoarea ipotezelor lui Jeans în teoria newtoniană — a procedat în 1946 la o examinare aprofundată, în cadrul relativităţii generalizate, a problemei condensării locale prin gravitaţie în universurile Friedman-Einstein [2]. Concluziile sale sînt deci vala-

[1] G. GAMOW, E. TELLER, *On the Origin...*, mem. cit.

[2] E. LIFSHITZ, *On the Gravitational Stability of the Expanding Universe*, Journal of Physics (U.R.S.S.), 10, 2, 1946, pp. 116—129.

bile pentru modelul cosmologic care servește ca suport cosmogoniei lui Gamow (în schimb valabilitatea lor pentru cosmogonia lui Lemaître nu este evidentă). Ele sînt în orice caz perfect clare și, după cîte știm, nu au fost niciodată contestate. În modelele considerate, condensările locale care rezultă dintr-o fluctuație întîmplătoare a densității nu pot servi la declanșarea unui proces de condensare prin gravitație : ele sînt destinate să se disperseze, sau, în cazul unora dintre ele, să crească atît de lent încît acest mod de formare nu este de conceput pentru galaxii.

Deci dacă vrem să înțelegem mecanismul condensării la orice nivel, trebuie să facem să intervină factori ajutători, care să accentueze acțiunea gravitației — sau care să permită structurii în formare să se debaraseze de excesul său de moment cinetic, dacă dificultatea principală în problema respectivă a putut fi localizată în acest punct. Cercetătorii au cheltuit multă ingeniozitate pentru a găsi astfel de factori și multe eforturi pentru a le calcula efectele posibile.

În această privință, caracteristica cea mai frapantă a cosmogoniei lui Gamow este fără îndoială rolul capital jucat de turbulență la toate scările : imagine cosmogonică uitată de la Descartes încoace, la care, la drept vorbind, vîrtejul nu avea sensul pe care i-l conferă Gamow și modernii. Formă stabilă și ordonată, el are mai ales sarcina, la Descartes, de a asigura permanența structurilor cerești amenințate de inerție și de mișcarea rectilinie indusă de ea. În cosmogonia atît de riguros monistă a lui Gamow, intervenția turbulenței este dimpotrivă o concesie făcută diversității și întîmplătorului pe care le constatăm în Univers. Prin rolul genetic pe care îl conferă vîrtejului — ca și prin introducerea în cosmogonie a fenomenelor nucleare — Gamow reprezintă tendința timpului său. La mijlocul secolului al XX-lea, fizica turbulenței nu era numai o cercetare la ordinea zilei, datorată interesului său practic pentru aviația ultrarapidă; ea avea, și mai are încă, un sens epistemologic legat foarte direct de preocupările de bază ale științei moderne. Între structurile globale stabile și integrate și dezordinea perfectă, dezordinea ideală de la scară moleculară, între armonia kepleriană a mișcărilor planetare și hazardul pur care guvernează aerul calm și apa liniștită, vîrtejul reprezintă o figură intermediară și ambiguă, dezordine care rupe regularitatea repausului sau a fluxului, schițare a unei ordini, totuși, care „întărește” fluidul în anumite locuri și îl modelează, așa cum se vede în acele grote în care vîltoarea apelor subterane a modelat puțin cîte puțin piatra. Prin această ambiguitate, această poziție intermediară și insesizabilă (vîrtejuri de toate dimensiunile se

îmbucă între ele, se fac şi se desfac fără încetare), turbulenţa pare să sfideze înţelegerea. Dealtfel, studiul teoretic al fenomenului a fost precedat de studiul său empiric. Dar pătrunzînd în fizica vîrtejurilor, matematica a dovedit, mai mult decît oriunde, că a devenit capabilă să străbată întreg labirintul realului.

Pentru a explica formarea stelelor şi a sistemelor planetare, Gamow se sprijină în principal pe teoriile care fac apel la mişcările turbulente pentru a depăşi obstacolele care se opun condensării gravitaţionale, mai ales pe teoriile lui von Weizsäcker.

Pentru a explica procesul iniţial al celei de-a doua faze cosmogonice din teoria sa, separarea gazului cosmic omogen în protogalaxii, el invocă tot turbulenţa. În privinţa aceasta, cosmologia sa îl situează pe o poziţie mai dificilă decît cea a lui Lemaître. Într-adevăr, în modelul cosmologic în care se încadrează cosmogonia „atomului primitiv", expansiunea se încetineşte într-o anumită perioadă a istoriei cosmice [1]. Este deci aplicabilă formula lui Jeans şi, cînd se reia expansiunea, ea nu mai ameninţă coeziunea internă a galaxiilor formate. Dar aşa ceva nu este posibil în modelul cosmologic al lui Gamow, în care concluziile lui Lifshitz sînt strict aplicabile. Dealtfel, însuşi Gamow recunoaşte că compararea valorilor actuale ale recesiunii cu cele ale densităţii cosmice scoate în evidenţă faptul că condensarea ar fi imposibilă în prezent şi că ea trebuie să fi fost imposibilă şi în epoca în care se presupune că ar fi trebuit să înceapă [2]. A fost necesară deci producerea în acea epocă a unor importante fluctuaţii ale densităţii, pe care numai o turbulenţă puternică le-ar fi putut provoca. Un arheolog nu poate însă postula realitatea unui eveniment fără a găsi cîteva urme: Gamow vrea să găsească urmele turbulenţei primordiale în distribuţia galaxiilor, concentrate foarte neregulat în roiuri şi într-un mod care, după calculele colaboratorilor săi, corespunde unui grad de compresiune suficient de mare pentru a explica formarea de condensări în gazul primitiv [3]. În timp ce la Lemaître, roiurile de galaxii sînt fragmente ale unui Univers în echilibru, care s-a modelat în timpul perioadei în care expansiunea s-a oprit, pentru Gamow ele sînt efectele unei „turbulenţe fosilizate". Se vede că interpretarea vestigiilor nu este mai puţin incertă în cosmogonie decît în paleontologie. Ca un adevărat cosmogonist, Gamow admite să se pună întrebarea: *de ce* exista o puternică turbulenţă în gazul primordial? Ca şi Lemaître pentru

---

[1] Vezi Anexa, VI, C, 3, fig. VI.

[2] G. GAMOW, *On the Formation of Protogalaxies in the Turbulent Primordial Gas*, Proc. Nat. Acad. Sc. U.S.A., 40, 1954, p. 481.

[3] *Ibid.*, p. 482.

atomul primitiv, Gamow amînă explicarea acestui punct pînă la cercetări viitoare. În momentul în care începe formarea proto-galaxiilor, amestecul cosmic conţine încă cincizeci la sută din masa-energia sa sub formă de materie şi cincizeci la sută sub formă de radiaţie; mecanica şi termodinamica unui astfel de sistem fiind pentru moment necunoscute, nu putem şti dacă turbulenţa nu este o regulă în acest caz.

Cosmogonia lui Gamow se bazează mai mult decît cea a lui Lemaître pe cunoştinţele dobîndite de fizică şi astronomie. Cît despre valoarea sa ca reprezentare adecvată a istoriei cosmice reale, ea este evident discutabilă. Ne mărginim a spune că cosmologia lui Gamow este remarcabilă prin stilul său sintetic. Ea atinge un grad de unitate care nu este egalat sau depăşit decît de teoria stării staţionare şi de continuările pe care i le-a dat Hoyle. Într-adevăr, la Gamow, toate procesele de oarecare importanţă din Univers sînt pînă la urmă legate de una din fazele sau împrejurările istoriei cosmice. Pe de altă parte, ideea de stare iniţială este pusă în evidenţă în modul cel mai direct şi în acelaşi timp cel mai verosimil posibil.

Din punct de vedere al perfecţiunii conceptuale, i se poate reproşa totuşi lui Gamow, desigur, nu faptul de a fi dorit să trateze problema cosmologică în cadrul teoriei relativităţii generalizate şi nici de a se fi situat în această privinţă cît mai aproape posibil de ultimele poziţii ale lui Einstein, ci de a fi ezitat puţin în alegerea unui model de univers şi de a se fi interesat mai puţin de problema structurii decît de problema genezei. Este ceea ce deosebeşte teoria sa nu numai de cea a lui Lemaître, dar mai mult încă de cea a lui Hoyle. Este adevărat că la aceasta a contribuit într-o oarecare măsură şi dificultatea, în parte imaginară, a scării timpului.

III. Cosmogonia lui Hoyle: geneza obiectelor cosmice într-un spaţiu-timp staţionar

Teoria stării staţionare, sub forma pe care i-o dăduseră la început Bondi şi Gold, este în mod esenţial o teorie structurală şi autorii nu au continuat-o prin nici o încercare sistematică de sinteză cosmogonică. Totuşi, asocierea dintre cosmologie şi cosmogonie este aici deosebit de evidentă, pentru că soluţia problemei structurii implică generarea continuă ca o consecinţă necesară. Astfel că, în acelaşi timp în care punea la punct soluţia staţionară a problemei structurii şi o completa printr-o teorie a generării privită ca un cîmp fizic, Hoyle s-a apucat, cu o ingeniozitate in-

epuizabilă, să inventeze, să dezvolte, să pună la punct, să adapteze o cosmogonie sintetică compatibilă cu modelul staţionar.

Această teorie este aproape în toate privinţele opusă celor pe care tocmai le-am expus, pentru că încă de la început ea se deosebeşte de acestea în privinţa unui element esenţial al sintezei cosmogonice : la Gamow, ca şi la Lemaître, Universul, sau cel puţin ceea ce putem cunoaşte din el prin observaţie şi raţionament, are o istorie. Procesele genetice nu se reînnoiesc deci decît parţial, iar cele mai importante dintre ele deloc. Dimpotrivă, deoarece Universul din teoria stării staţionare este din principiu staţionar, nu există istorie cosmică, ci numai istorii locale şi parţiale, care se pot continua indefinit, dar care trebuie să se repete indefinit şi în alte sisteme materiale.

Principiul cosmologic perfect — dacă ne putem permite să introducem în expunerea teoriei lui Hoyle o expresie de care acest autor nu se serveşte cu plăcere — impune în acelaşi timp un criteriu de selecţie extrem de strict în alegerea ipotezelor şi un minunat fir al Ariadnei în labirintul observaţiilor şi al problemelor.

În teoria lui Hoyle, generarea continuă de materie-energie, este primul dintre procesele genetice care nu are echivalent în nici una din teoriile pe care le-am citat, în afară de cea a lui Jordan. Ea rezultă, după cum se ştie, din necesitatea unei compensări „fenomenologice" a dispersării materiei-energiei care rezultă din expansiune. Dacă conţinutul material al spaţiu-timp-ului nu se reînnoieşte neîncetat în unitatea de volum propriu, observatorul fundamental va vedea acest conţinut dispersîndu-se la nesfîrşit, iar înfăţişarea Universului, contrar principiului cosmologic perfect, nu va înceta să se schimbe, chiar la scară cosmologică.

Hoyle, ca şi Bondi şi Jordan, nu este dispus să admită că generarea continuă, aşa cum o concepe el, implică abandonarea principiului conservării. Într-un Univers infinit, crede el, totalitatea materiei este o idee lipsită de sens. Pentru a putea enunţa principiul conservării pentru un astfel de Univers, trebuie deci precizat ce anume se conservă. Postulînd că este vorba de cantitatea de materie-energie în unitatea de *volum-propriu* (măsurat de observatorul fundamental în sistemul său propriu) şi nu în unitatea de *volum-coordonată* (independent de timpul cosmic[1]), teoria stării staţionare schimbă pur şi simplu natura cantităţii care se conservă, „dar întreaga istorie a legilor de conservare din fizică oferă exemple de modificări repetate în definiţia cantităţilor care se conservă[2]".

---

[1] Vezi Anexa, VI, B, 2.

[2] *The Steady State Theory*, în *La Structure et l'Évolution de l'Univers*, *op. cit.*, p. 80.

Rata generării continue poate fi calculată după teoria structurală, pornind de la valorile empirice ale lui ρ_0 (densitatea cosmologică în epoca cosmică actuală) și H_0 (constanta lui Hubble). Luînd ca bune estimările lui Oort și Sandage pentru aceste mărimi, obținem o valoare de ordinul a 10^{-48} g/cm și pe secundă. Această rată este atît de mică la scara măsurătorilor umane, încît nu poate fi vorba de vreo confirmare directă prin observație sau experiență.

Cît despre modalitățile generării, nu poate fi evitat un anumit grad de arbitrar în această privință. Am vorbit despre consecințele pe care Bondi și Gold credeau aprioric că le pot trage din principiile lor, adăugîndu-le cîteva postulate, plauzibile după părerea lor [1]. Generare continuă și uniformă în tot spațiul (și nu, ca în teoria lui Jordan, prin procese spasmodice și strict localizate), alegerea masei (mai curînd decît a energiei), a hidrogenului (mai curînd decît a altui atom) ca materie primă a generării.

Făcînd această alegere, Bondi și Gold fuseseră conduși în parte, după propria lor mărturisire, de preferința lor pentru cosmogonia de condensare, confirmată la acea dată de descoperirea recentă a globulelor lui Bok și de moda teoriilor *acreției*, după care, odată formată, o stea poate continua să se îmbogățească pe seama mediului interstelar.

Mai tîrziu, importanța, ba chiar realitatea, fenomenului de acreție au fost puse la îndoială, iar cosmogonia de condensare a pierdut teren, mai ales sub influența puternică a lui Ambarțumian, un apărător talentat, așa cum vom vedea, al schemelor explozive. Totuși, în ciuda dificultăților pe care le întîmpină, formarea stelelor prin condensare este în general considerată ca verosimilă și nu a fost propusă nici o altă teorie coerentă care s-o înlocuiască.

În orice caz, Hoyle nu a modificat prea mult postulatele lui Bondi și Gold cu privire la modalitățile generării continue. Ipoteza continuității spațio-temporale a procesului — la scară cosmologică — are pentru Hoyle avantajul de a da teoriei sale a cîmpului generării forma clasică și „macroscopică” cea mai potrivită includerii ecuațiilor sale în teoria relativității, de la care, așa cum am mai spus, încearcă să se îndepărteze cît mai puțin posibil.

Nu poate fi vorba decît de o aproximație, pentru că în ultimă analiză generarea trebuie să fie considerată ca un fenomen microfizic, deci cuantic. Se presupune însă că materia se formează uniform în tot spațiul, sub formă de particule elementare. Cu alte cuvinte, dat fiind volumul mic ocupat de galaxii, cea mai mare parte a materiei create apare în spațiile intergalactice, în care ea

---

[1] Vezi mai sus, p. 225.

reînnoieşte fără încetare un gaz originar de densitate medie egală cu cea cosmologică.

Din ce este format acest gaz şi care sînt proprietăţile sale fizice? Din protoni şi din electroni, răspunde Hoyle, urmîndu-i pe Bondi şi Gold. Pe de altă parte, în fiecare punct materia nou creată parcurge geodezica lui Weyl şi generarea este asociată în mod fundamental timpului cosmic. În privinţa acestor puncte Hoyle, ca dealtfel toţi adepţii teoriei stării staţionare, nu şi-a schimbat niciodată părerile. Dar aceste aserţiuni lasă încă multe posibilităţi între care trebuie făcută alegerea : pe de o parte, există mai multe modalităţi de coexistenţă pentru protoni şi electroni ; pe de alta, identificarea mişcării particulelor materiale originare cu geodezicele lui Weyl nu ar fi strict adevărată decît dacă temperatura gazului ar fi nulă, ceea ce nu este prea promiţător din punct de vedere fizic. Trebuie deci să hotărîm : *a.* sub ce formă se prezintă hidrogenul nou creat ; *b.* care este temperatura sa. Aceste două probleme sînt dealtfel legate una de alta, temperatura unui gaz fiind legată de gradul său de ionizare, conform legilor obişnuite ale fizicii.

În această privinţă, postulatele lui Hoyle au suferit modificări. În prima versiune a cosmogoniei sale, materia originară era un gaz de hidrogen parţial ionizat, dar relativ „rece" (cincisprezece mii de grade). În versiunile ulterioare, gazul originar este format din neutroni care, dezintegrîndu-se, dau o *plasmă* cu temperatură foarte mare, total ionizată. Această schimbare a fost motivată atît prin descoperirile empirice care tind să dovedească existenţa unor importante fenomene cosmice de origine electromagnetică (de unde necesitatea de a întreţine prin generare continuă cîmpurile magnetice pe care expansiunea, la scară metagalactică, le-ar distruge), cît şi prin căutarea condiţiilor fizice celor mai favorabile rezolvării dificilei probleme a *formării galaxiilor şi a roiurilor de galaxii*.

Într-adevăr, una din trăsăturile distinctive ale cosmogoniei lui Hoyle este aceea că primul proces genetic după generare nu este formarea elementelor, ci a galaxiilor, pornind de la hidrogenul originar.

Mediul intergalactic actual — despre care empiric se ştiu foarte puţine lucruri, în afară de faptul că nu constă dintr-un vid absolut — este cu necesitate, în teoria lui Hoyle, indefinit reînnoit şi menţinut în aceeaşi stare prin generare continuă. Or cu siguranţă el nu îndeplineşte condiţiile cerute pentru sinteza directă a elementelor plecînd de la hidrogen. Aceste condiţii nu există actualmente (şi conform principiului cosmologic perfect, situaţia

este întotdeauna aceeaşi) decît în stele. Pentru ca elementele să se poată forma trebuie deci să existe stele, deci ca gazul originar să se fi condensat. Problema formării galaxiilor este deci prima în ordinea cosmogonică reală (care, atragem atenţia, nu este o ordine temporală absolută, pentru că au existat întotdeauna în Univers galaxii, stele şi elemente). Pe de altă parte, problemele privind formarea şi evoluţia stelelor ţin mai mult de astrofizica pozitivă şi „curentă".

De fapt, cu toată contribuţia sa importantă la studiul teoretic al stelelor, de cincisprezece ani încoace Hoyle s-a ocupat mai intens de studiul formării galaxiilor. Ideile sale directoare şi metodele sale folosite în raţionament au rămas aceleaşi, cu toate că ipotezele de lucru au fost sensibil schimbate:

Universul observabil fiind evident format din condensări materiale discrete, principiul cosmologic perfect impune nu numai constanţa densităţii cosmologice şi a ritmului expansiunii, dar şi constanţa dimensiunilor şi a distanţelor medii ale condensărilor regionale.

Or, metrica lui de Sitter, principiul cosmologic perfect şi, la Hoyle, teoria cîmpului generării definesc mărimi fundamentale care trebuie să fie constante în sistemul de măsură al oricărui observator al *substratum*-ului şi să servească drept etalon pentru distribuţia spaţio-temporală a structurilor cosmice: $\frac{1}{H}$ este evident unitatea de timp, iar intervalul $\frac{1}{3H}$, inversul căruia apare în formula care defineşte rata generării continue[1], trebuie să joace un rol cosmogonic esenţial — el este intervalul unei „generaţii". Raza de trunchiere (*cut-off radius*), $\frac{c}{H}$, care este, în orice moment, distanţa începînd de la care obiectele ies definitiv din cîmpul de observaţie al unui observator fundamental, este un fel de unitate cosmică de lungime [2]. În sfîrşit, densitatea cosmologică, care în teoria stării staţionare este, strict vorbind, arbitrară, dar care este determinată de legile cîmpului în teoria lui Hoyle [3], este punctul de plecare al formării condensărilor. Or etaloanele de timp şi de spaţiu (de ordinul a zece miliarde de ani sau de ani-lumină) fiind enorme, densitatea cosmologică este infimă în raport cu cea a stelelor, ba chiar a galaxiilor.

---

[1] Anexa, VI, B, 2, ec. 65.
[2] *Ibid.*
[3] Anexa, X, A.

Aceste motive, împreună cu multe altele, l-au făcut pe Hoyle să fie întotdeauna convins că dacă dorim să înţelegem mecanismul condensării plecînd de la materia intergalactică ultradifuză şi ajungînd pînă la marile densităţi stelare, trebuie să privim lucrurile la scară foarte mare şi să presupunem că mecanismul afectează la origine un „nor'' intergalactic ce conţine materia unui număr foarte mare de galaxii (o sută de mii, după ultimele sale concepţii), pentru că numai fragmentarea succesivă a norului iniţial în porţiuni din ce în ce mai mici şi din ce în ce mai condensate poate asigura continuarea şi accelerarea procesului declanşat. De aici o viziune cosmogonică simplă şi grandioasă, în care turbulenţa nu joacă nici un rol, contrar situaţiei din cosmogonia lui Gamow.

Odată trasate aceste linii mari — care nu s-au schimbat — rămîne să se înţeleagă cum se pot desfăşura efectiv lucrurile. Hoyle a schiţat mai întîi o schemă în care temperatura cinetică a gazului originar este relativ scăzută, în jur de cincisprezece mii de grade, ceea ce corespunde unei ionizări în proporţie de două treimi. El presupunea că motorul exclusiv al condensării este gravitaţia. Pentru ca energia mecanică legată de mişcarea de contracţie să se disperseze în radiaţie şi să nu provoace o restabilire prematură a echilibrului, trebuie ca norul să sufere o suită de fragmentări care asigură dispersarea energiei şi fac din condensare un proces practic izoterm, pînă în momentul în care densitatea şi opacitatea fragmentelor devin atît de mari încît contracţia devine cvasiadiabatică. Temperatura internă poate creşte atunci pînă la punctul de declanşare a reacţiilor nucleare ale hidrogenului : stelele se pot aprinde.

În afara numeroaselor dificultăţi de detaliu de care se loveşte, această schemă este supusă aceleiaşi obiecţii pe care Lifshitz o aducea cosmogoniei lui Gamow. Poate oare compensa gravitaţia mişcarea generală de expansiune la scara la care se declanşează condensarea primară? Prima cosmogonie a lui Hoyle este deficitară în această privinţă, pentru că teoria cîmpului generării determină densitatea cosmologică — şi îi fixează o valoare prea mică. Faptul că concluzia lui Lifshitz trebuie să se aplice şi Universului lui Hoyle, care nu este o soluţie a ecuaţiilor lui Einstein, nu era evident. Dar studii mai recente, pe care însuşi Hoyle le-a recunoscut ca întemeiate, au demonstrat că condensarea nu este posibilă într-un astfel de model numai sub efectul forţelor de gravitaţie [1].

---

[1] M. HARWIT, *Can Gravitational Forces Account for Galaxy Formation in a Steady State Universe?*, M.N.R.A.S., 122, 1961, pp. 47–50.

De aceea, într-o schemă mai recentă, Hoyle şi-a modificat ipotezele de lucru. El presupune existenţa unui gaz iniţial mult mai cald, de mai multe milioane de grade, aşa cum ar trebui să fie dacă materia generată ar fi formată din neutroni supuşi dezintegrării β. În acest caz, condensarea prin gravitaţie ar fi complet imposibilă dacă nu ar interveni un alt mecanism, care rezultă din variaţiile locale de temperatură şi de densitate din norul metagalactic: regiunile mai reci pot fi comprimate prin presiunea gazului cald înconjurător. Această ipoteză nu conţine nimic neverosimil, iar mecanismul ar putea explica şi formarea la o scară mult mai mică, în nebuloasele gazoase ale Galaxiei, a globulelor lui Bok.

În această a doua schemă a lui Hoyle, ca şi în prima, evenimentele iniţiale continuă să se producă la o scară fantastic de mare: mai mult de o sută de milioane de ani-lumină ca diametru pentru condensările primare, cele care se formează direct din gazul originar, fiecare conţinînd materia a o sută de mii de galaxii, adică a mii de miliarde de stele. În acest caz, mecanismul condensării depinde în esenţă de viteza de răcire a gazului prin radiaţie, iar posibilitatea existenţei sale este determinată de formula care leagă radiaţia hidrogenului ionizat de temperatura şi de densitatea sa. Or, la o temperatură de zece milioane de grade şi pentru o densitate de 10^{-27} g/cm^3, răcirea se poate produce cu o viteză destul de mare pentru ca procesul de condensare să se declanşeze şi să se accelereze pînă la a deveni „catastrofic".

Din păcate, această valoare a densităţii nu poate corespunde celei a gazului originar şi acest frumos mecanism nu poate interveni decît în cel de-al doilea stadiu al condensării. Într-adevăr, valoarea empirică a densităţii cosmologice dată de Oort, 10^{-31} g/cm^3, şi chiar şi valoarea calculată de către Hoyle pornind de la teoria sa a generării, 10^{-29} g/cm^3, sînt foarte mici şi nu sînt adecvate procesului de răcire directă. În consecinţă, Hoyle consideră că ar trebui imaginat un mecanism diferit, de tip dinamic, mişcări de ansamblu ale materiei primare, care ar rezulta dintr-o interacţiune termodinamică între gazul „rece" al galaxiilor condensate şi gazul cosmologic „cald". O „maşină termică" extrem de puternică şi cu un „randament" remarcabil ar absorbi excesul de energie al gazului cald. Ceea ce face ca această explicaţie să fie atrăgătoare este faptul că ea oferă dintr-o dată o sursă capabilă să furnizeze cantităţile enorme de energie implicate de anumite fenomene observate, ca radiaţiile cosmice de energie foarte înaltă şi emisiunile radiosurselor. Explicarea acestor fenomene se loveşte de obicei tocmai de problema energiei.

Hoyle acordă deci cu această ocazie radiaţiilor cosmice o semnificaţie cosmologică comparabilă celei pe care vroia să le-o confere Lemaître, semnificaţie de care progresele cunoştinţelor păreau să le lipsească. Pentru el, într-adevăr, nu există limită superioară pentru spectrul de energie al radiaţiilor cosmice. Pentru explicarea energiei celor mai rapide dintre ele nu ar fi suficiente efectele pur galactice; accelerarea lor trebuie să rezulte dintr-un „efect dinamo" al materiei intergalactice. Formate în stele, accelerate în galaxii, injectate în mediul cosmologic atunci cînd ating o anumită energie, radiaţiile cosmice pot să se accelereze aici indefinit. Nici una dintre ele nu poate fi, ca în cosmogonia lui Lemaître, „la fel de veche ca şi lumea", pentru că lumea nu are „vîrstă", dar cele care ajung să moară în atmosfera terestră, declanşînd cascade de catastrofe nucleare, ale căror urme sînt studiate în laboratoare, pot fi oricît de vechi am dori (vechi după calendarele noastre, căci traiectoriile lor spaţio-temporale fiind mult diferite de geodezicele lui Weyl, timpul lor propriu nu este timpul cosmic).

Şi mai recent, în urma progreselor radioastronomiei, date fiind mai ales rezultatele primelor numărători sistematice făcute în funcţie de intensitatea radiosurselor [1], Hoyle, în colaborare cu J. V. Narlikar, a dat o nouă dezvoltare teoriei sale cosmogonice [2]. Această revizuire este direct motivată de discordanţa constatată de către Ryle şi radioastronomii de la Cambridge, între rezultatele observaţiilor şi prevederile teoriei stării staţionare referitoare la relaţia număr-intensitate pentru radiosurse. Dar acesta nu a fost probabil singurul motiv, iar încercarea lui Hoyle şi Narlikar este cu totul altceva decît o simplă ajustare.

Dealtfel, trebuie să ne ferim de a considera rezultatele lui Ryle ca definitive, date fiind dificultăţile de tot felul pe care le ridică studiul empiric al radiosurselor; ele sînt contestate de alţi radioastronomi chiar pe plan tehnic. Noua încercare a lui Hoyle nu trebuie deci considerată numai ca o încercare de potrivire între teoria sa şi rezultatele investigaţiilor radioastronomice, ci şi ca o continuare naturală a speculaţiilor sale anterioare în spiritul cosmogoniei Universului staţionar. Mai ales sub acest aspect este interesantă pentru noi.

Discuţia este concentrată în jurul modalităţilor de grupare spaţială a galaxiilor şi al corelării lor după vîrstă. Cosmogonia lui

---

[1] Vezi mai jos, p. 407. După observaţiile lui Ryle, numărul de radiosurse creşte *mai repede*, pe măsură ce intensitatea lor scade, decît într-un spaţiu euclidian static. După T.S.S., ar trebui să crească *mai puţin repede*.

[2] *On the Counting of Radio-Sources in the Steady State Cosmology*, M.N.R.A.S., 1961, p. 123.

Hoyle s-a bazat întotdeauna pe principiul ierarhiei condensărilor şi, pentru că există o evidentă discontinuitate în distribuţia structurilor locale şi regionale, este natural să se presupună că grupările după vîrstă sînt în corelaţie cu grupările spaţiale. Ipoteze de acest fel au jucat întotdeauna un anumit rol în raţionamentele cosmogonice ale lui Hoyle şi pot furniza un răspuns natural problemelor puse de radioastronomie:

Dacă fenomenul de „radiosursă" se produce mai frecvent la o epocă determinată în istoria galaxiilor, deci a unei grupări de galaxii aflate în corelaţie de vîrstă, pentru observatorul uman va exista o anumită zonă spaţio-temporală deosebit de bogată în radiosurse. Pe măsură ce observaţiile se vor apropia de această zonă, numărul de radiosurse detectate va creşte mai repede decît dacă ele ar fi uniform distribuite într-un spaţiu-timp staţionar.

Hoyle crede aşadar că poate satisface condiţiile impuse de numărătorile actuale postulînd:

a. existenţa unor condensări primare, care ar conţine materia a o sută de mii de galaxii şi ar fi iniţial repartizate în sfere de treizeci de milioane de parseci (aproximativ o sută de milioane de ani-lumină); toate galaxiile formate prin fragmentările succesive ale acestor condensări primare ar fi în corelaţie de vîrstă;

b. probabilitatea ca o galaxie să fie o radiosursă este înmulţită cu o sută atunci cînd vîrsta acestei galaxii este cuprinsă între $\frac{1}{H}$ şi $2{,}5\left(\frac{1}{H}\right)$, adică între 13 — 33 de miliarde de ani dacă folosim pentru H estimările lui Sandage. Pînă aici nu se presupune nimic altceva decît reînnoirea marilor procese genetice la intervale egale cu $\frac{1}{3H}$ (aproximativ 4,5 miliarde de ani). Această discontinuitate temporală „primară" a „generaţiilor" a jucat întotdeauna un rol important în cosmogonia lui Hoyle.

Ceea ce este nou în această privinţă în memoriul lui Hoyle şi Narlikar este impunerea unei condiţii de grupare secundară spre vîrful structurii ierarhice, şi anume: expansiunea reţelei cubice formate de condensări şi cea a condensărilor înseşi se face în aşa fel încît raportul dintre diametrul condensării şi distanţa dintre centrul condensării şi centrul reţelei rămîne constant şi egal cu $\frac{1}{3}$. De aici rezultă restricţii cu privire la dezordinea reţelelor primare din generaţii succesive şi la probabilitatea ca un observator oarecare să se afle situat într-o reţea din prima,

a 2-a, a 3-a,..., a n-a... generaţie. Mulţimea unităţilor de reţea în care se află simultan un observator oarecare formează atunci o submulţime infinită în mulţimea numerelor întregi. Datorită expansiunii, însă, densitatea spaţială a unei reţele din a n-a generaţie descreşte ca e^{-n}. În imediata vecinătate a observatorului,

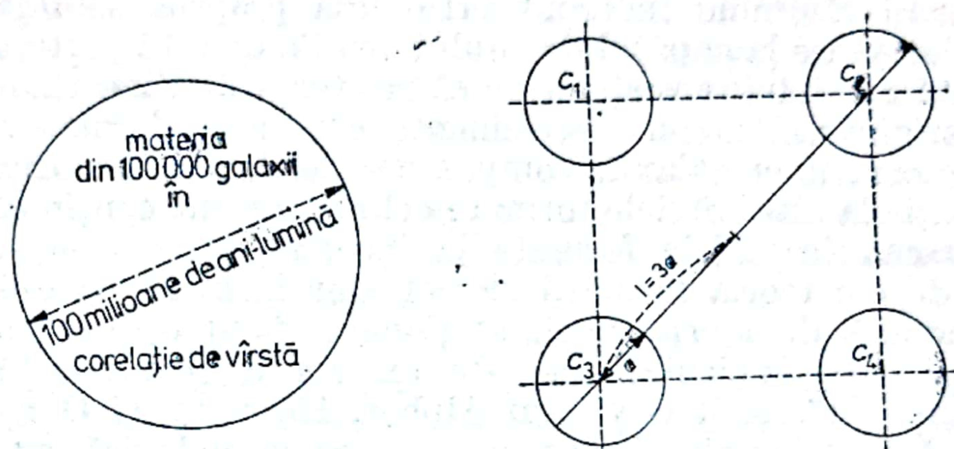


Fig. 2

principala contribuţie în galaxii este dată de valoarea cea mai mică a lui n din submulţime.

Vîrsta celor mai bătrîne stele din Galaxie fiind de ordinul a 15 miliarde de ani, să spunem $\frac{4}{3}\left(\frac{1}{H}\right)$, noi ne aflăm într-o unitate de reţea din cea de-a şasea generaţie, poate în sisteme ceva mai tinere, dar în mod sigur în sisteme mai bătrîne dar mai dispersate, care însă nu aduc decît o slabă contribuţie la densitatea în galaxii a spaţiului din vecinătatea noastră. Faptul că observatorul uman are anumite proprietăţi fizice fără de care el nu ar putea exista ca observator face absolut necesar ca el să se găsească într-o reţea avînd cel puţin o anumită vîrstă: ţinînd cont de timpul necesar pentru condensare, nu pot exista stele decît în galaxiile din cea de-a doua generaţie.

În teoria lui Hoyle, *formarea elementelor* nu poate avea loc decît în stele şi modalităţile de formare sînt strîns legate de etapele evoluţiei stelare. Raportată la schema cosmogonică de ansamblu, ea este deci asociată stadiilor ultime ale fragmentării condensărilor primare. Dar galaxiile continuă să evolueze indefinit şi, cum structura lor internă nu este afectată de expansiune, se poate produce o suită cvasiciclică de dispersări şi de condensări, exploziile stelare proiectînd în spaţiu materialele adunate prin condensarea stelei,

făcîndu-le astfel disponibile pentru noi procese de condensare, odată cu materia tînără.

Nu este vorba totuşi de adevărate cicluri. În teoria stării staţionare — şi tocmai în aceasta constă originalitatea teoriei — lumea este staţionară, dar numai la scară mare, în timp ce structurile locale evoluează ireversibil şi indefinit, o parte din masa condensată rămînînd indefinit prizoniera propriei sale gravitaţii în stelele ajunse la capătul drumului lor. Pe de altă parte, materia restituită mediului interstelar de către stele este diferită de hidrogenul originar. Ea conţine elemente care s-au format în stele. În interiorul unei galaxii, compoziţia stelelor se modifică de la o generaţie la alta. Stelele formate cel mai recent conţin elemente care lipseau în stelele formate la început.

Cît despre teoria formării elementelor în stele, ea este acum independentă de teoria stării staţionare, fiind opera comună a numeroşi astrofizicieni [1]. Ea este extrem de complicată, mult mai complicată decît cea a lui Alpher, Hermann şi Gamow. Ea nu pleacă, în principiu, de la nici o ipoteză cosmologică sau cosmogonică specială şi leagă nucleogeneza de fenomenele stelare observate. Fără îndoială, prin aceasta se explică preferinţa lumii ştiinţifice pentru această teorie. Ea are în schimb inconvenientul de a nu oferi o explicaţie directă şi simplă a curbei empirice a abundenţelor cosmice.

Pentru edificarea acestei teorii trebuie folosit întregul aparat al fizicii stelare şi al fizicii nucleare. Procesele pe care ea le implică sînt atît de diferite încît fac imposibilă orice încercare de prezentare simplă şi ordonată. Ar trebui făcută o analiză în detaliu pe grupe de atomi şi tipuri de reacţii. Ne vom mărgini aici la cîteva indicaţii sumare :

Lăsînd la o parte reacţiile elementare care duc la sinteza heliului şi care au loc în lunga perioadă de stabilitate a stelelor, geneza nucleelor nu se produce decît în fazele tîrzii ale evoluţiei stelare, cele mai dificil de descris, cele mai puţin cunoscute, acelea care oferă cele mai puţine prilejuri pentru observarea directă.

Consumarea hidrogenului în centrul stelei marchează în istoria sa începutul instabilităţii. Reluarea condensării în centru este însoţită de o creştere considerabilă a temperaturii, „aprinderea"

---

[1] Expunerea completă a teoriei, în starea în care se afla în 1957, este dată într-un articol foarte lung semnat de E. M. şi G. R. BURBIDGE, W. FOWLER, F. HOYLE, *Synthesis of the Elements in Stars*, Rev. Mod. Phys., 29, 1957, pp. 446—560. O expunere succintă, dar precisă, însoţită de o schemă generală a evoluţiei stelare, este dată de J. G. Greenstein, în *Stelar Evolution and the Origin of Chemical Elements*, American Scientist, 49, *4*, 1961, pp. 449—473.

nucleară a heliului, dilatarea astrului şi scăderea temperaturii sale la suprafaţă, în timp ce temperatura internă continuă să crească. Steaua trece în stadiul de „gigantă roşie". Succesiv se întrunesc condiţiile necesare formării tuturor elementelor uşoare pînă la oxigen.

În jurul temperaturii de o sută de milioane de grade, anumite reacţii dau naştere la neutroni, inaugurînd un tip de reacţie cu totul nou, prin care, ca şi în teoria lui Gamow, ar trebui să se explice sinteza nucleelor grele. Stabilitatea foarte mare a nucleelor din grupa fierului explică acumularea de elemente de acest fel, care se traduce pe curba empirică a abundenţelor printr-un „pic" binecunoscut şi foarte caracteristic. Dar oricît de stabile ar fi, aceste nuclee pot totuşi să capteze neutroni, astfel încît constituirea de nuclee grele poate să continue.

Procesul este totuşi extrem de îndelungat în „gigantele roşii" şi chimia spontană a stelelor nu ar ajunge la capăt dacă nu ar interveni catastrofele, favorizînd-o mult într-un timp foarte scurt, prin modificarea în proporţii enorme a timpului necesar „coacerii". În timpul exploziei unei supernove, un proces care ar fi cerut mii de ani în era precatastrofică se poate încheia în cîteva ore. Cosmogonia explozivă îşi recapătă aici drepturile şi se vede cum contrastul dintre scările de timp, atît de frapant în istoria Universului după Gamow, se regăseşte în istoria stelelor.

Aceste catastrofe contribuie de asemenea în mare măsură la repunerea în circuitul cosmogonic a elementelor nou formate. Ejecţia de materie ca rezultat al exploziilor supernovelor este un fapt de observaţie, aşa cum este şi deosebirea de compoziţie în elemente grele a stelelor din Galaxie. Lucrul acesta, după cum am văzut, poate fi explicat destul de simplu în teoria lui Hoyle prin data formării stelelor în istoria Galaxiei, pentru că odată cu fiecare generaţie, mediul interstelar, compus la origine exclusiv din hidrogen, se îmbogăţeşte în elemente grele.

Există de exemplu o întreagă clasă de stele, numite „subpitice" datorită poziţiei punctelor lor reprezentative, aflate sub ramura piticelor pe diagrama empirică culoare-strălucire, care stă la baza tuturor inducţiilor astrofizice. Conţinutul în metale al acestor stele este deosebit de mic, de la 10% pînă la 0,5% din cel al Soarelui. Se presupune că ele s-au format în primul miliard de ani de viaţă a Galaxiei, atunci cînd numai puţine gigante roşii şi supernove avuseseră timpul să răspîndească în spaţiu elemente grele. Se remarcă totuşi că abundenţele relative ale diferitelor

metale nu diferă de valoarea lor în Soare, ceea ce sugerează că la începutul istoriei galactice contribuţia la mediul interstelar a stelelor cu evoluţie rapidă, astăzi dispărute, era în esenţă de aceeaşi natură cu cea a unor stele comparabile de astăzi.

IV. Ideile cosmogonice ale lui Victor Ambarţumian

La prima vedere, teoriile cosmogonice ale astronomului sovietic Victor Ambarţumian par cu totul opuse, mai curînd în spiritul lor decît în conţinut, celor pe care le-am evocat pînă aici [1]. Mai întîi, pentru Ambarţumian, unitatea cosmologică nu este decît un mit sau o „simplificare grosieră": dacă vorbim de regiunile explorate ale Universului, trebuie să le numim pur şi simplu „Metagalaxie" şi nu „Univers". Dealtfel, ipoteza omogenităţii, pe care se sprijină teoriile cosmologice, nu are nici măcar valoare aproximativă în raport cu datele actuale de observaţie. Nu numai că variaţiile de densitate în partea cunoscută a lumii sînt enorme, dar observaţia optică şi radioastronomia îmbogăţesc fără încetare diversitatea calitativă a galaxiilor.

Absenţa unităţii cosmologice antrenează *ipso facto* vanitatea unei reprezentări cosmogonice unitare şi exclude în orice caz „schema imaginară" a unui Univers în expansiune (cu toate că, la drept vorbind, această consecinţă este puţin explicită la Ambarţumian). Este evident că, pentru Ambarţumian, ideea unei stări iniţiale a Universului trebuie pusă pe seama consecinţelor iluzorii pe care „fideismul" le trage din descoperirile noi şi încă prost delimitate ale ştiinţei, ceea ce „ţine de domeniul predicatorilor".

Pentru Ambarţumian nu poate fi vorba nici de o apropiere între epistemologie şi cosmologie. Aceasta ar fi pur şi simplu o dovadă de „idealism".

De fapt, Ambarţumian nu a propus niciodată vreun model de univers (chiar neomogen), nici vreo cosmogonie unitară. Cercetările sale s-au referit exclusiv, pînă în prezent, la formarea stelelor şi a roiurilor de stele, apoi a galaxiilor şi a roiurilor de galaxii. El nu pare să se fi interesat direct nici de geneza speciilor atomice şi nici de formarea sistemelor planetare.

El admite totuşi că, cu toată eterogenitatea, incertitudinea în privinţa distanţelor sau dispersia vitezelor, „ansamblul roiurilor de galaxii bogate, repartizat într-un anumit spaţiu din jurul nostru, se dilată aproximativ în mod izotrop şi omogen" [2].

---

[1] Ambarţumian îşi expune clar şi cu vigoare principiile în *La Méthode en Cosmologie*, în *Le Cosmos, Recherches Internationales*, 14—15, 1959, pp. 22—41.

[2] *Mem. cit.*, p. 31.

Începînd din 1958 Ambarţumian consideră expansiunea Metagalaxiei ca un lucru sigur şi admite că acest fenomen poate fi interpretat cu ajutorul anumitor soluţii ale ecuaţiilor einsteiniene ale gravitaţiei, important fiind „să se aprecieze aşa cum trebuie" semnificaţia acestor soluţii. În particular, precizează Ambarţumian, soluţiile lui Friedman se află „. . .incontestabil în relaţie directă cu expansiunea galaxiilor care ne înconjură", în ciuda condiţiilor ideale şi imaginare pe care ele le presupun pentru Univers. Totuşi, pentru a obţine o imagine „mai concretă" a expansiunii, ar trebui introduse condiţii iniţiale mai conforme cu starea reală a sistemului cosmic din care facem parte şi, conchide Ambarţumian, „această muncă dificilă urmează a fi făcută". Este însă clar că rezultatul nu poate fi cunoscut înainte ca ea să fie îndeplinită şi că, pe de altă parte, nu postulatul omogenităţii este răspunzător pentru închiderea spaţiului în anumite soluţii ale ecuaţiei lui Friedman... Dealtfel, dacă citim cu atenţie articolul (citat mai sus) din care au fost extrase aceste remarci, vedem că Ambarţumian îşi îndreaptă criticile nu atît asupra modelelor de univers, cît asupra deducţiilor „idealiste" la care ele au dat naştere. Fără îndoială, Ambarţumian are rezerve în precizarea tipului de structură cosmologică pe care îl concepe drept cadru pentru teoriile sale cosmogonice. Cu toate acestea, situîndu-le în principiu în perspectiva teoriei relativităţii generalizate, el pătrunde în domeniul filozofic în care se mişcă toţi cosmologii secolului al XX-lea. Ca un adevărat cosmogonist, el vede în marxism mai ales o filozofie a devenirii : ceea ce reţine el în primul rînd, din punct de vedere metodologic, din învăţătura lui Marx, este că cunoaşterea profundă a fenomenelor constă în cunoaşterea transformărilor lor. Din punctul de vedere al cunoaşterii Universului, rezultă maxima citată deja :

„Problema cosmogonică este problema fundamentală a astronomiei şi a astrofizicii. Orice problemă particulară, dar a cărei semnificaţie se extinde şi asupra principiilor, va căpăta deci inevitabil un sens cosmogonic chiar în cursul rezolvării ei".

Nu este vorba de o simplă declaraţie de principiu, ci de o adevărată regulă metodică, care ghidează efectiv munca ştiinţifică a lui Ambarţumian, în care putem vedea pe unul din reprezentanţii cei mai tipici ai gîndirii cosmogonice a secolului al XX-lea.

Gîndirea lui Ambarţumian este destul de apropiată de cea a altor cosmogonişti ai secolului nostru, în măsura în care el vede structurile cosmice în perspectiva devenirii. Cosmologia relativistă întinerea Universul; Ambarţumian nu vrea să audă de „vîrsta" Universului, dar el întinereşte stelele, grupurile de

stele, galaxiile; pretutindeni el caută şi găseşte semnele unei evoluţii rapide, deseori expansive, chiar explozive. Cu toate că el se fereşte de orice speculaţie cu privire la totalitate şi crede în diversitatea calitativă infinită a Universului, gîndirea sa este totuşi în mod natural amplificatoare, sintetică şi exclude o viziune strict analitică a unor fenomene parţiale, o comportimentare a domeniilor de cercetare. Dacă el a dat un impuls indiscutabil cercetărilor astrofizice, atît în ţara sa cît şi în străinătate, aceasta se datoreşte faptului că a refuzat chiar de la început să privească problema fizicii şi evoluţiei stelelor, pe de o parte, şi cea a grupărilor lor şi a mişcărilor în spaţiu, pe de alta, ca două probleme separate. În sfîrşit, dacă urmărim istoria operei sale, trecerea de la domeniul stelelor la cel al galaxiilor este caracteristică pentru o gîndire a cărei intenţie este profund cosmologică.

Dacă rămîn deosebiri importante între stilul cosmogonic al lui Ambarţumian şi cel al concurenţilor săi „occidentali", acestea decurg în definitiv poate mai puţin din ideologie, cît din metodologie. Ambarţumian este un adevărat empirist, şi aceasta mai mult prin practica sa decît prin declaraţiile explicite. După el, cunoaşterea nu se poate îmbogăţi decît prin observaţie. Important este în primul rînd să se folosească orice informaţie dobîndită, să se preia efectiv tot ceea ce realitatea cosmică a putut dezvălui cu privire la ea. Acesta este motivul pentru care Ambarţumian şi colaboratorii săi au putut fi văzuţi scrutînd deseori mai cu atenţie chiar decît astronomii americani fotografiile de la Mount Palomar. În anumite cazuri trebuie de asemenea să ştii să aştepţi ca observaţiile să se îmbogăţească. Trebuie mai ales să interpretezi observaţia, punînd la încercare ipotezele plauzibile printr-o confruntare atentă cu toate datele dobîndite şi accesibile. Ambarţumian excelează în acest gen de muncă, este un virtuoz al inducţiei cauzale. Articolul său referitor la evoluţia galaxiilor [1] ar putea servi drept paradigmă *Logicii* lui Stuart Mill şi de model pentru orice cercetare inductivă (ai crede uneori că citeşti mai curînd articolul unui arheolog sau al unui istoric decît al unui astronom).

În schimb, Ambarţumian nu apreciază deloc metoda familiară astrofizicii moderne, cea pe care, printre alţii, Eddington a ilustrat-o atît de strălucit — construirea, pornind de la cîteva ipoteze simple, şi într-o primă aproximaţie, în conformitate cu datele de observaţie, a unui model matematic de stea, roi de stele, galaxie, Univers,

---

[1] *On the Evolution of Galaxies*, în *La Structure et l'Évolution de l'Univers, op. cit.*, pp. 241—273.

şi explorarea deductivă a proprietăţilor sale fizice. Ambarţumian nu consideră această metodă fecundă şi nu o practică [1].

Poziţia sa faţă de problema cosmologică se explică în definitiv destul de bine prin combinarea filozofiei sale asupra naturii cu metodologia sa. Ambarţumian are prea mult respect faţă de observaţie şi este prea convins că Universul este în devenire pentru a nu vedea în deplasarea spre roşu a nebuloaselor un fapt cosmic bine dovedit şi semnul unei expansiuni fizice reale, dar are prea puţină stimă pentru metoda deductivă şi are un gust prea viu pentru diversitate pentru a admite că aceasta ar putea fi interpretată corect în cadrul unui model cosmologic.

Cîteva consideraţii generale asupra conţinutului operei ştiinţifice a lui Ambarţumian ne vor permite să precizăm întrucîtva poziţia sa în mişcarea cosmogonică contemporană. Ambarţumian şi-a fixat mai întîi atenţia asupra problemei genezei stelelor şi a adus în acest domeniu idei noi foarte importante. Apoi, după mai mulţi ani, urmînd o mişcare a gîndirii care dezvăluie într-o oarecare măsură vocaţia sa cosmogonică, a încercat să aplice la galaxii unele ipoteze de lucru care modificaseră între timp în mare măsură perspectivele curente cu privire la geneza stelară.

Pornind de la observaţiile făcute de către olandezul Pannekoek asupra repartiţiei stelelor foarte fierbinţi în Galaxie, Ambarţumian a introdus noţiunea de *asociaţie stelară* şi i-a dat o semnificaţie cosmogonică. Astronomia cunoştea de mult timp *roiurile* de stele, a căror grupare este numai spaţială. Astrofizica, pe de altă parte, ajunsese după începutul secolului, prin observaţie spectroscopică, să claseze stelele după tipul lor fizic. O *asociaţie* stelară, în sensul şcolii astronomice sovietice, este însă o grupare de stele strînse la un loc după ambele criterii în acelaşi timp. Căci asociaţiile sînt formate din stele de acelaşi tip, mai ales din stele numite O, foarte strălucitoare şi foarte albastre, foarte dispersate în spaţiu, amestecate cu stele din cîmpul stelar general, astfel că gruparea lor geometrică nu iese în evidenţă imediat, ca în cazul roiurilor; ea poate fi totuşi sesizată şi confirmată în numeroase cazuri, prin prezenţa, în centrul asociaţiei, a unui adevărat roi puţin dens, format din stele de acelaşi tip cu cele ale asociaţiei.

Ideea cu adevărat originală a lui Ambarţumian a fost aceea de a da asociaţiilor o semnificaţie genetică, de a le considera roiuri de stele de aceeaşi origine, provenite dintr-un proces unic şi pe cale de a se dispersa rapid în spaţiu. Cercetări minuţioase

---

[1] *La Méthode en Cosmogonie*, *mem. cit.*, în *Le Cosmos*, *op. cit.*, p. 33.

au permis astronomilor şcolii sovietice să stabilească numeroase fapte în sprijinul acestei teze. În particular, ei s-au preocupat să arate existenţa unei legături fizice determinate între asociaţii şi unele roiuri stelare, apoi între aceste roiuri şi unele stele multiple, pentru a demonstra că toate aceste grupări la scări diferite ar reprezenta, în momente succesive ale evoluţiei lor, roiuri în care toate stelele s-au „născut'' împreună şi care se dispersează nu numai sub efectul forţelor exterioare (în special rotaţia diferenţială a Galaxiei, care deformează asociaţiile din momentul în care acestea ating anumite dimensiuni), dar şi spontan, cel puţin în anumite cazuri, prin eliberarea unei energii interne pozitive acumulate în roi.

Astfel, după Ambarţumian, stelele se formează în grup şi faptele stabilite îi par suficiente pentru a dovedi că aceasta este o lege generală a evoluţiei stelare (stelele ale căror proprietăţi fizice exclud posibilitatea ca ele să fi apărut în asociaţii O, ar lua naştere în grupări de un alt gen, mult mai puţin strălucitoare, numite de către astronomii sovietici *asociaţii* T, datorită prezenţei stelelor de tip T Tauri în aceste grupări). După Ambarţumian, sistemele fizice din care provin grupările stelare sînt puţin cunoscute. Acestea ar putea fi nebuloasele difuze, ale căror proprietăţi fizice ne scapă în parte ; energia lor este fără îndoială pozitivă — aceasta fiind una din ideile foarte importante în cosmogonia lui Ambarţumian. După el, astronomia stelară avusese prea multă încredere în ipoteza echilibrului sistemelor cosmice. Unele grupări stelare fuseseră în mod greşit considerate ca stabile. De fapt, este vorba de sisteme instabile, pe cale de dezagregare spontană. Este adevărat că ele sînt rare în cîmpul observaţiei deoarece, fiind *tinere*, evoluează rapid spre configuraţii mai stabile, deci mai durabile şi mai uşor de observat. Cunoaşterea lor este însă cu atît mai preţioasă, pentru că ele depun mărturie în favoarea unei activităţi creatoare necontenite, desfăşurată de forţele cosmice [1].

Începînd cam din 1955, Ambarţumian extinde în continuare această metodă de interpretare şi aceste idei directoare la domeniul galaxiilor, printr-un procedeu de transpunere analogică suficient de suplu pentru a nu da, cînd este privit în detaliu, impresia unei generalizări artificiale [2]. Această schimbare de scară l-a

---

[1] V. A. AMBARŢUMIAN, *Discursul introductiv la Simpozionul U.A.I. cu privire la evoluţia stelară* (în limba franceză), Roma, 1952. *Transactions of the I.A.U.*, Cambridge U.P., 1954, pp. 655—681. *Idem, On the Origin of Stars*, în *Les Processus nucléaires dans les astres*. Al V-lea Colocviu internaţional de astrofizică, Liège, 1953, pp. 292—300.

[2] *Idem, On the Evolution of Galaxies*, în *La Structure et l'Évolution de l'Univers*, *op. cit.*, pp. 241—673.

apropiat mult de domeniul de interes principal al cosmogoniei „occidentale''. Ideea de asociaţie stelară nu poate fi transpusă la domeniul intergalactic, pentru că clasificarea galaxiilor după tipul lor fizic este departe de a avea precizia clasificării stelelor. În schimb, ipoteza că structura observabilă a galaxiilor, mai ales a galaxiilor duble sau multiple şi cea a roiurilor de galaxii, poate fi interpretată, în anumite cazuri, ca semnul unui proces de dezagregare, ba chiar ca indiciul unei origini comune a obiectelor astăzi diferenţiate şi dispersate, este foarte atent discutată de Ambarţumian şi confruntată cu datele de observaţie. Deşi constată că roiurile cu energie pozitivă, deci instabile, trebuie să fie mult mai rare în sistemul galaxiilor decît în cel al stelelor, el sesizează totuşi numeroase indicii de dispersare rapidă, fie în roiuri, fie în galaxiile multiple. De exemplu, în anumite roiuri mari, cum ar fi cunoscutul roi Virgo, dispersia vitezelor este atît de mare încît indică un sistem pe cale de dezagregare. (Menţionăm că şi Lemaître dădea o semnificaţie cosmogonică acestei dispersii mari a vitezelor în roiurile mari). Mai mult, în ceea ce priveşte galaxiile multiple, Ambarţumian observă că, în ipoteza stabilităţii acestor sisteme, calculul maselor componentelor, efectuat după teoremele mecanicii statistice, dă în anumite cazuri valori sistematic mai mari decît valorile admise în medie pentru galaxiile cîmpului general. S-ar putea să fie vorba de o eroare sistematică, introdusă de ipoteza echilibrului, care conduce la o supraestimare a potenţialului gravitaţional [1]. Pe de altă parte, Ambarţumian s-a situat pe o poziţie contrară faţă de interpretările general admise ale unor fenomene importante descoperite recent în Universul metagalactic. Acesta este în special cazul radiosurselor, care pot fi identificate cu galaxii vizibile de structură anormală. Pe baza aspectului galaxiei din Cygnus, identificată ca o radiosursă puternică, s-a presupus mai întîi că emisia hertziană rezultă din ciocnirea a două galaxii. Ambarţumian, dimpotrivă, a văzut întotdeauna aici efectul „fisiunii'' unui obiect unic la origine. Astăzi el poate fi mulţumit că a fost primul care a intuit corect : ipoteza ciocnirilor este privită cu un scepticism crescînd şi tinde să cedeze locul unor presupuneri bazate pe explozie.

Pe de altă parte, Zwicky a descoperit, acum cîţiva ani, „punţi de materie'', filamente slab luminoase între galaxiile vecine. Conform interpretării propuse de Zwicky şi general admise, acest fenomen se datoreşte gravitaţiei, care deformează, în direcţia cîmpului, masele fluide, care se atrag reciproc, ca în cazul mareelor.

---

[1] *On the Evolution of Galaxies*, *mem. cit.*, pp. 251 şi 255.

Ambarţumian contestă această interpretare. Calculul, dus pînă la capăt pentru un caz dat, îi dovedeşte că filamentul este mult prea fin. Raportul dintre lărgimea şi lungimea filamentului este mult mai mare în cazul efectului mareic. În consecinţă, conclude Ambarţumian, filamentul trebuie considerat ca ultima legătură care mai uneşte două galaxii formate prin diviziunea unui nucleu primar şi care se găsesc în prezent pe cale de separare completă [1].

În sfîrşit, legătura dintre unele galaxii mari şi „sateliţii" lor mai mici, ba chiar structura internă a galaxiilor şi, mai ales, forma spirală, s-ar putea explica în acelaşi mod, printr-un proces de diviziune a nucleului originar. Şi în această privinţă, descoperirea recentă a exploziei nucleului galaxiei M82 aduce o confirmare strălucită intuiţiilor lui Ambarţumian.

Aplicată unor sisteme locale, dar pînă la urmă foarte vaste, viziunea cosmogonică pe care o găsim la Ambarţumian este deci destul de înrudită cu viziunea sugerată de cosmologia relativistă nestaţionară. Dezechilibru cosmic accentuat, predominare a mişcării de expansiune, „tinereţe" a formaţiunilor cosmice observate. Ambarţumian împărtăşeşte, cu cosmogoniştii relativişti — împrejurare demnă de remarcat — o dificultate care pare a fi inerentă oricărei cosmogonii „explozive": cea a punctului de pornire. Enigmaticei stări „superdense" a originii din cosmogonia relativistă, îi corespunde la Ambarţumian o materie „protostelară" şi „protogalaxii", a căror stare fizică este cel puţin dificil de conceput şi de descris. În orice caz, energia trebuie să fie aici extrem de condensată. Ca şi Lemaître în cazul „atomului primitiv", Ambarţumian este constrîns într-o oarecare măsură să solicite ajutorul fizicii necunoscutului pentru a explica cum au putut fi concentrate, apoi eliberate, rezerve atît de mari de energie.

Aplicînd acestei probleme, ca şi altora, metoda sa de cercetare inductivă, Ambarţumian a căutat în anumite observaţii dovada indirectă că materia protostelară este sediul anumitor fenomene fizice necunoscute pînă în prezent.

Este vorba de stele variabile de diferite tipuri, descoperite destul de recent — T Tauri şi UV Ceti — ale căror proprietăţi diferă de proprietăţile celor mai multe dintre stelele variabile cunoscute. Ele prezintă mai ales, cu totul neregulat şi fără nici un fel de periodicitate, variaţii bruşte de strălucire, dintre care unele nu durează mai mult de cîteva minute — incluzînd şi reîntoarcerea la starea iniţială [2]. Aceste „fulgere" sau, cum le spun

---

[1] *On the Evolution of Galaxies*, *mem. cit.*, p. 262.

[2] La 24 octombrie 1942, steaua UV Ceti a prezentat timp de şapte secunde o variaţie de strălucire corespunzătoare unei multiplicări cu 4 a luminozităţii sale.

anglo-saxonii, *flares* sau *flashes*, îi intrigă mult pe astrofizicieni. Se admite deseori că aştrii în cauză sînt „tineri", formaţi recent pornind de la nebuloasele difuze cu care sînt asociaţi, ceea ce nu putea să nu atragă atenţia astronomilor sovietici. Întotdeauna precis în ceea ce priveşte punctul în care îşi aplică metoda, Ambarţumian îşi concentrează atenţia asupra uneia din proprietăţile remarcabile ale acestor stele, prezenţa în spectrul lor a unei emisii continue, uneori extrem de intense, asociată deseori, dar nu întotdeauna, „fulgerelor". Discutînd ipotezele plauzibile asupra regiunilor astrului în care ar putea să se producă emisia, ca şi asupra cauzelor sale, Ambarţumian conchide că ea trebuie să aibă loc în straturile exterioare ale stelei, dar că pune în joc rezerve de energie atît de mari încît ele nu pot proveni decît din interior, înainte de a fi eliberate: emisia este un fenomen „protostelar". În plus, există motive să se creadă că ea este de origine nucleară. Dar, conchide el:

„Este dificil să se spună la ora actuală ceva precis cu privire la astfel de procese nucleare. Totuşi, este foarte probabil că aceste procese de degenerare atomică să aibă loc nu în nuclee atomice microscopice de tip obişnuit, ci în formaţiuni nucleare la scară macroscopică, adică în obiecte de o natură care ne este necunoscută pînă în prezent" [1].

Dacă facem apel la acest text, aceasta este numai pentru a sesiza un fel de ecou al vocii lui Lemaître şi al celei a lui Gamow. „Atom primitiv", *ylem*, proces protostelar necunoscut — logica cosmogoniei expansive conduce întotdeauna la presupuneri analoage. Fenomene nucleare la scară foarte mare, profund diferite, poate chiar într-un mod esenţial, de cele pe care le cunoaştem şi care sînt însoţite de o enormă eliberare de energie. Cît despre trecutul protostelei sau al protogalaxiei, el este tot atît de inaccesibil la Ambarţumian ca „era augustiniană" la Gamow...

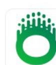
Superioritatea construcţiei lui Ambarţumian constă în soliditatea legăturilor pe care el le stabileşte între inducţie şi faptele observate. În acelaşi timp apar însă şi limitele metodei sale, care îl împiedică să meargă mai departe. Metoda sa ar trebui să fie urmată de o metodă a modelelor, cum s-a întîmplat cu *ylem*-ul lui Gamow, dezvoltat mai apoi de Alpher şi Hermann. Dar Ambarţumian nu pare să se fi preocupat de construirea unui model teoretic al materiei protostelare.

---

[1] V. A. AMBARŢUMIAN, *Stars of T Tauri Type and the Phenomenon of Continuous Emission*, în *Non-Stable Stars*, Simpozionul nr. 3 al U.A.I., Dublin, 1955; editor G. A. Herbig, Cambridge U.P., 1955, p. 181.

Partea a patra

UNIVERSUL PENTRU OCHI ȘI UNIVERSUL PENTRU SPIRIT



Capitolul X

COSMOLOGIA TEORETICĂ ŞI UNIVERSUL OBSERVAT

Cu tot caracterul său declarat speculativ, cosmologia rămîne înainte de toate o ştiinţă a naturii şi confruntarea consideraţiilor sale cu datele observaţiei nu poate fi evitată, cu atît mai mult cu cît aceste consideraţii se referă nu la obiecte ideale şi generale, ci la o existenţă reală şi unică.

În această privinţă, ea se găseşte încă într-o situaţie excepţională şi, înainte de a examina dacă, şi pînă în ce punct, observaţia astronomică şi experienţa fizică confirmă sau avantajează una sau alta dintre teoriile cosmologiei moderne, trebuie să ţinem seama de acest lucru.

Fiind o ştiinţă a Universului fizic şi neputînd exclude posibilitatea ca trăsăturile caracteristice ale acestui Univers să se manifeste direct în una sau alta dintre experienţele locale, cosmologia este implicată eventual — şi Bondi, Gold, Sciama nu au greşit pretinzînd acest lucru — în orice observaţie asupra lumii, în orice experienţă de laborator, căci oricare din aceste observaţii sau din aceste experienţe poate dezvălui, pentru cine ştie să înţeleagă, cîteva lucruri esenţiale cu privire la structura Cosmosului. Dar, în această privinţă, cosmologia nu poate să conducă ea însăşi investigarea experimentală, pentru că nu poate spune dinainte care experienţă ar putea să-i ofere informaţii — tot aşa cum biologia nu putea să prevadă aprioric că o boală particulară a tutunului, una dintre multiplele boli care afectează nenumăratele specii vii, îi va deschide calea spre cîteva cunoştinţe esenţiale cu privire la procesele fundamentale ale vieţii.

Cosmologia nu este nici măcar sigură că poate discerne dintr-o dată calea experimentală esenţială. Cînd, în 1931, Jansky descoperea că o parte a „paraziţilor" din radiotelegrafie varia în ritmul zilei siderale şi îşi avea deci sursa dincolo de sistemul solar, nici un cosmolog nu şi-a dat seama că viitorul ştiinţei sale era implicat în această treabă de tehnician şi nici n-a ştiut să prevadă că,

treizeci de ani mai tîrziu, el însuşi sau emulii săi vor asculta cu aviditate „zgomotele” radioelectrice ale cerului.

Interesată aprioric de totul şi de nimic în particular, cosmologia îşi are totuşi domeniul său propriu de explorare empirică. Ea caută de preferinţă în observaţia astronomică — cea a obiectelor cunoscute ca fiind cele mai îndepărtate — informaţii de natură să-i îmbogăţească sfera de cunoştinţe sau să verifice valoarea ipotezelor sale. Dar chiar limitîndu-se la acest domeniu, natura faptelor pe care le cercetează o situează într-o poziţie incomodă. Ea are nevoie mai ales de date globale, extinzîndu-se la tot cerul, sau cel puţin la regiuni foarte vaste. Dar această cerinţă intră într-un anumit fel în contradicţie cu progresele naturale ale tehnicii instrumentale care, vizînd o precizie mai mare, ajung la o delimitare mai strictă a cîmpului observabil.

Acest contrast între exigenţele panoramice ale cosmologiei şi îngustarea cîmpului observaţiei pe măsură ce precizia creşte este cel mai bine ilustrat de faptul că telescoapele mari sînt instrumentele cele mai indispensabile cosmologiei şi că, totuşi, ele sînt incapabile să-i ofere exact ceea ce aceasta cere. Telescopul Hale, avînd un cîmp foarte îngust, este destinat numai explorării unor suprafeţe extrem de limitate ale cerului, obţinerii unei imagini cvasipunctuale din imensa panoramă cosmică care-i este oferită... virtual de puterea sa. Folosirea sa trebuie rezervată cîtorva sondări în profunzimile spaţiu-timp-ului. Se trag concluzii folosindu-se treizeci de roiuri de galaxii, în timp ce, teoretic, telescopul Hale poate să vadă sute de mii. Desigur, sînt posibile compromisuri, datorită instrumentelor care împacă precizia cu întinderea, ca şi datorită unor subtile metode de analiză statistică. Rezultă deci că, pentru cosmologie, observaţia trebuie să decidă asupra esenţialului avînd la dispoziţie foarte puţine obiecte.

Aceste obiecte sînt, în general şi aproape prin definiţie, observate în condiţiile cele mai proaste. Căci o altă caracteristică a cosmologiei este aceea că interesul său se îndreaptă de preferinţă spre limitele observabilului. Partea din Univers accesibilă privirii sau ascultării radioelectrice, oricît de imensă ar fi ea raportată la scara umană, este desigur mică raportată la scara cosmică. Oricum ar fi în realitate, pentru observaţie Cosmosul este infinit. Reapare deci de fiecare dată riscul ca dincolo de o anumită limită, adevărurile cele mai bine stabilite să se estompeze. Oricîte precauţii am lua, nu poate fi depăşit un inevitabil efect de selecţie. La frontierele vizibilului apar numai obiectele cele mai strălucitoare şi eşti inevitabil condus la a confunda gigantul cu fiinţa medie. Faptele cele mai puţin sigure sînt considerate ca fiind cele mai semnifi-

cative şi este foarte frapant să îi vezi pe cosmologi, în ciuda miilor de eşecuri, încăpăţînîndu-se să sprijine afirmaţiile cele mai fundamentale pe observaţiile cel mai dificil de interpretat... Dar altceva ce-ar putea face?

Particularităţile epistemologice ale teoriei cosmologice moderne contribuie şi ele la stabilirea unor relaţii excepţionale cu observaţia. Ea se prezintă ca o teorie a spaţiu-timpului şi, în plus, ca o teorie dinamică, dacă se bazează pe ecuaţiile lui Einstein sau pe legea lui Newton. Or măsurătorile efectuate de astronomie în regiuni îndepărtate nu sînt nici măsurători de timp (la scară cosmică observaţia este în ansamblul ei instantanee), nici măsurători de lungime (astronomia nu face niciodată astfel de măsurători), nici măsurători privind energiile mecanice. Trebuie deci ca, plecînd de la fotometrie, de la analiza spectrală, de la numărători, de la măsurători unghiulare instantanee, al căror rol rămîne încă foarte limitat, să se reconstituie indirect mărimile susceptibile să intre în ecuaţiile cosmologiei teoretice. La drept vorbind, acest gen de problemă este bine cunoscut astronomiei, dar relaţiile geometrice şi fizice care servesc în astronomie pentru a se face legătura între mărimile măsurabile şi mărimile teoretice nu mai sînt valabile în cosmologie, din cauza expansiunii şi a eventualei curburi a spaţiului, pentru a nu mai vorbi de alte forme — dacă există — ale evoluţiei cosmice globale. Trebuie deci să le corectăm prin tatonări sau prin introducerea unor ipoteze suplimentare, cu riscul evident al erorilor sau al cercului vicios.

Remarcile precedente nu trebuie să fie înţelese într-un sens sceptic, însă ele erau indispensabile pentru a face să se înţeleagă că în cosmologie observaţia decisivă, crucială, capabilă să tranşeze dezbaterea teoretică, să scoată în evidenţă o proprietate indiscutabilă a Universului cunoscut în ansamblul său, are foarte puţine şanse să se producă. Extraordinar este chiar faptul că această observaţie s-a produs efectiv acum patruzeci de ani, că Universul metagalactic s-a dezvăluit în cîţiva ani, în condiţiile pe care le-am amintit încă de la începutul lucrării prezente, cu caracteristici atît de nete şi atît de neaşteptate.

Miracolul nu s-a mai repetat după aceea. Telescopul Hale, marele telescop Schmidt de la Mount Palomar, funcţionează de cincisprezece ani; ele au îmbogăţit prodigios viziunea Universului îndepărtat, dar nu au tulburat-o. Cît despre radioastronomie, ale cărei prime rezultate confirmate păreau atît de promiţătoare pentru cosmologie, nu ştim încă exact la ce ne putem aştepta şi ar fi excesiv să sperăm sau să ne temem de o nouă transformare a decorului cosmic. Într-un viitor mai îndepărtat şi mai imprecis,

sateliţii artificiali ai Pămîntului [1] vor ajuta fără îndoială la depăşirea unuia dintre marile obstacole ale observaţiei astronomice: perturbarea de către atmosferă a radiaţiei provenind de la aştri (tulburarea imaginilor, absorbţia anumitor frecvenţe, estomparea imaginilor de către luminozitatea cerului nocturn).

Sîntem în prezent în posesia elementelor necesare pentru a înţelege contrastul care domină confruntarea dintre cosmologia teoretică şi observaţia astronomică, contrast care s-a accentuat de treizeci de ani încoace. S-a realizat totuşi un acord care se consolidează neîncetat în privinţa cîtorva date, foarte puţin numeroase, dar cu adevărat cosmologice şi de interes primordial, pentru că ele sînt suficiente pentru a schiţa fără echivoc cîteva dintre trăsăturile importante ale structurii Universului; le cunoaştem foarte bine. În schimb, atunci cînd vrem să precizăm, prin observaţie, tipul de model teoretic care convine cel mai bine reprezentării Universului real, să decidem dacă el trebuie considerat ca o soluţie a ecuaţiilor lui Einstein sau ca o formă fizico-geometrică determinabilă aprioric, înaintea oricărei teorii a forţelor fizice; sau, mai mult, în primul caz, cînd trebuie să alegem între toate tipurile de modele posibile şi să obţinem în consecinţă din observaţie informaţii cu privire la forma trecutului cosmic, sau la infinitatea spaţiului, atunci problema întîmpină atîtea dificultăţi încît faptele devin echivoce şi interpretarea lor subiect de polemică. Se constată fluctuaţii surprinzătoare — de-a lungul anilor, după starea tehnicii experimentale şi talentul teoreticienilor celor mai renumiţi — care agită opinia ştiinţifică, aproape la fel de inconstantă aici ca şi moda literară, trecîndu-se de la spaţiul finit la spaţiul infinit, de la expansiunea accelerată la expansiunea încetinită, de la cosmogonia lentă la cosmogonia explozivă, sau viceversa.

Trăsăturile esenţiale ale Universului la scară foarte mare au fost descoperite acum mai bine de treizeci de ani. Confirmarea lor după aceea, în ciuda cantităţii enorme de date noi acumulate, constituie un fapt a cărui importanţă sîntem în mod natural înclinaţi să o subestimăm. Într-adevăr, consolidarea cunoştinţelor frapează mai puţin decît descoperirea de fapte noi şi fără îndoială mai puţin decît punerea în discuţie a cunoştinţelor dobîndite. Totuşi, în 1948, în momentul în care intra în funcţiune telescopul Hale, nu lipseau cei care gîndeau şi sperau că, odată cu noul tele-

---

[1] Deja s-au obţinut rezultate remarcabile în studiul cu ajutorul aparaturii montate pe sateliţi a unor obiecte cosmice care emit în domeniul radiaţiilor infraroşii, ultraviolete, X şi γ. —*N.T.*

scop, imaginea lumii avea să se schimbe din nou. Chiar şi Tolman, după cum am spus, făcea parte dintre aceştia. Alţii, mai sceptici decît el cu privire la valoarea cosmologiei teoretice, nu se îndoiau că construcţiile sale se vor prăbuşi ca nişte castele de nisip în momentul în care o observaţie mai extinsă avea să risipească aparenţele pe care ei le considerau fragile şi trecătoare. Pînă acum nu s-a întîmplat aşa ceva. Acesta este un *fapt* pe care trebuie să-l constatăm în mod expres, iar primele rezultate ale radioastronomiei nu dau de gîndit că aceasta va distruge elementele dominante ale tabloului cosmic actual.

Aceste elemente corespund punct cu punct postulatelor cosmologiei robertsoniene, relativiste sau nu. Izotropia în distribuţia galaxiilor şi toate caracteristicile deplasării spre roşu confirmă ipoteza timpului cosmic, a unui spaţiu de curbură constantă la timp cosmic constant, a unui *substratum* omogen de galaxii asimilabile unor particule parcurgînd geodezicele lui Weyl. Ipotezele teoriilor relativiste contemporane care postulează existenţa „forfecării" sau a „rotaţiei" fluidului cosmic nu au deci nici o justificare directă în observaţii — şi este important să ne reamintim acest lucru. Deoarece aceste ipoteze se situează în cadrul teoriei relativităţii generalizate, anumite spirite sînt înclinate să le atribuie o semnificaţie mai pozitivă decît, de exemplu, teoriei stării staţionare. Dar avem aici de-a face cu o judecată de valoare de origine epistemologică.

Singurul lucru stabilit pînă în prezent este că elementul de arc ds^2 al lui Robertson, orice interpretare i s-ar da, exprimă adecvat proprietăţile observate ale Universului şi că soluţiile $R(t) = \text{const}$ sînt incompatibile cu una dintre aceste proprietăţi. Dacă rămînem aici, situaţia la mijlocul deceniului al şaptelea nu este esenţial diferită de cea din 1930. Printre defectele majore ale cosmologiei robertsoniene — pe care le-am semnalat la timpul potrivit — există unul, existenţa a două elemente nedeterminate în expresia metricii — indicele curburii spaţiale k şi funcţia $R(t)$ — pe care în principiu observaţia ar trebui să îl poată remedia. O poate face în prezent? Aceasta este problema pe care o vom examina acum.

Făcînd acest lucru, intrăm într-un domeniu nesigur şi instabil, în care metodele devin complicate şi întortocheate, în care părerile se înfruntă. Specificarea prin observaţie a metricii lui Robertson ar fi pentru cosmologie o operaţie de primă importanţă, mai importantă chiar decît acum treizeci de ani. Într-adevăr, dacă ar fi posibil ca ea să fie efectuată complet şi sigur, ar putea tranşa discuţia asupra marilor tipuri de teorii cosmologice, pentru că teoriile deductive aleg aprioric valoarea lui k şi forma lui $R(t)$, iar în cazul

teoriei stării staţionare, ca şi în cel al relativităţii cinematice, această alegere este incompatibilă cu ecuaţiile lui Friedman aplicate unui Univers nevid. Ea ar putea de asemenea să decidă dacă Universul este staţionar, fără a fi static, sau dacă este ,,istoric''. Din păcate, în starea actuală a lucrurilor, încercarea se dovedeşte extrem de delicată.

Metoda constă în a deduce relaţiile care leagă mărimile măsurabile direct şi necunoscutele care figurează în metrica lui Robertson. Lăsînd elementul ds^2 în forma sa nedeterminată şi presupunînd numai că funcţia $R(t)$ se poate dezvolta în serie Taylor în vecinătatea epocii cosmice actuale, se pun în evidenţă două combinaţii între cele trei mărimi numerice R_0, $\dot{R}_0$, $\ddot{R}_0$ (reprezentînd valorile lui $R(t)$ şi ale primelor sale două derivate în epoca cosmică actuală), combinaţii care apar în relaţiile care se stabilesc între mărimile măsurabile[1]. Aceste două combinaţii sînt : constanta lui Hubble, $H_0 = \frac{\dot{R}_0}{R_0}$, care este gradientul unei viteze, adică inversul unui timp, şi parametrul de decelerare, $q_0 = -\frac{R_0 \ddot{R}_0}{\dot{R}_0^2}$, care este un număr fizic adimensional. Folosirea ecuaţiilor lui Friedman, care au inconvenientul de a postula valabilitatea relativităţii generalizate la scara cosmică şi de a introduce o nouă necunoscută, Λ, conduce la relaţii suplimentare.

Ca punct de contact cu observaţia, dispunem de un anumit număr de mărimi pe care astronomia poate, în principiu, să le furnizeze : magnitudinile galaxiilor — sau densităţile de flux ale radiosurselor — diametrele aparente şi distanţele unghiulare ale galaxiilor, ale roiurilor de galaxii şi ale radiosurselor, deplasarea spre roşu a galaxiilor (dar nu şi cea a radiosurselor), numărul de galaxii şi de radiosurse situate într-o arie dată a sferei cereşti, pînă la o magnitudine limită oarecare. Dispunem de asemenea de mărimea semiempirică ρ_0, care măsoară densitatea medie a materiei în spaţiu, în jurul epocii cosmice actuale — semiempirică pentru că ea este evident dedusă, nu măsurată, dar cu ajutorul unor ipoteze suficient de generale pentru a nu depinde în mod critic de necunoscutele cosmologice.

Această deducţie este o problemă clasică în cosmologie, ceea ce nu o face mai simplă, şi trebuie să remarcăm astăzi că, ori de cîte ori apare o nouă observaţie, această deducţie este reluată, cu noi eforturi, de către autori aparent puţin satisfăcuţi de ceea ce alţii

---

[1] Vezi Anexa, XI, p. 492.

sau ei înşişi spuseseră anterior [1]. Aceasta este desigur o dovadă a dificultăţilor reale şi profunde care ţin, în parte, de motivele generale de care am vorbit. Pentru noi ar fi imposibil şi, dealtfel, inutil să pătrundem în acest hăţiş spinos, în care se îmbină inextricabil obstacolele tehnice, matematice şi conceptuale.

Este totuşi oportun, din punct de vedere epistemologic, să ne oprim puţin asupra unora dintre aceste obstacole şi asupra mijloacelor de a le depăşi. Vom reţine două dintre ele. Primul ţine de conceptul de *distanţă*, iar celălalt, de existenţa unei evoluţii fizice globale a galaxiilor, în intervalul de timp foarte lung care separă plecarea semnalelor luminoase de la galaxiile îndepărtate şi sosirea lor în telescoapele terestre.

1. Odată cu problema *distanţei*, cosmologia regăseşte, agravate, consecinţele binecunoscute ale unui punct slab congenital al astronomiei, care nu poate măsura direct nici o distanţă şi care trebuie ca, plecînd de la măsurători făcute în două dimensiuni, să reconstituie un Univers care — fără a mai socoti şi timpul — are trei. Poate că istoria acestei ştiinţe ar putea fi scrisă ca istoria unui lung şi perseverent efort în vederea compensării acestei inferiorităţi — efort încununat de un extraordinar succes. Dealtfel, cosmologia ar fi neputincioasă dacă nu s-ar putea situa într-un fel în vîrful unui edificiu solid construit, etaj cu etaj, în cursul secolelor. În astronomie orice distanţă este dedusă, dar procedeele de măsurat şi de deducere variază de la un etaj la altul. Pe măsură ce urcăm, ele devin din ce în ce mai puţin directe şi geometrice, şi din ce în ce mai indirecte şi mai fizice. Măsurători de unghiuri şi de timp la început, măsurători fotometrice şi spectroscopice în prezent, cu adăugarea numărătorilor şi a metodelor de analiză statistică [2].

Oricît de moderne ar fi aceste procedee, atît timp cît conceptul de distanţă este luat din geometria euclidiană şi atît timp cît, pe de altă parte, ne bazăm, cu toate corecţiile ocazionale convenabile, pe legea în $\frac{1}{l^2}$ pentru a măsura raportul dintre energia radiată de o sursă şi cea pe care o primeşte observatorul situat la distanţa l, rămînem totuşi în domeniul astronomiei tradiţionale. Ceea ce se obţine astfel este „distanţa locală" (McVittie), măsura-

---

[1] Printre autorii cărora li se datorează discuţii aprofundate, de la punerea în funcţie a telescopului Hale, îi amintim pe Robertson, McVittie, Sandage şi Davidson ; acesta din urmă pare să fi fost primul care a „regîndit" întreaga problemă pentru radioastronomie.

[2] Vezi P. COUDERC, *L'Expansion de l'Univers*, *op. cit.*, pp. 27—59.

bilă în unităţi terestre, prin racordarea succesivă a scărilor suprapuse.

Acest concept de „distanţă locală" ne conduce foarte departe, mult dincolo de frontierele Galaxiei, dar măsurătorile decisive pentru cosmologie încep şi mai departe, adică într-un domeniu în care definiţia euclidiană a distanţei trebuie să fie eventual modificată pentru a ţine cont de curbura spaţiului, în care, pe de altă parte, extincţia radiaţiei cu distanţa nu mai ascultă de legea clasică din cauza deplasării spre roşu care absoarbe o parte apreciabilă din energia emisă. Distanţei locale trebuie să i se substituie deci o „distanţă-luminozitate", care îi va lua locul în formulele ce dau legătura dintre mărimile observabile şi mărimile geometrice.

Soluţia depinde de ipoteza care se face cu privire la natura deplasării spre roşu, care intervine diferit în definiţia „distanţei-luminozitate", după cum este considerată sau nu ca un efect cinematic. Această incertitudine a fost mult timp o dificultate pentru cosmologia empirică. Prima ipoteză fiind acum foarte general admisă, această definiţie pare să se fi putut debarasa de orice ambiguitate. Dar exemplul acesta arată cît poate fi de îndepărtată de acum înainte practica efectivă a ştiinţei, cel puţin în domeniul cosmologiei, de această filozofie a sistemului metric, triumfătoare în secolul al XIX-lea, pentru care metrul şi secunda erau entităţi fizice destul de sigure, palpabile şi imuabile pentru a servi ca bază pentru orice aparat de măsurat şi, prin aceasta, pentru întregul aparat de concepte al fizicii. Între *distanţa* care separă liniile spectrale şi care indică pe spectrogramă deplasarea spre roşu şi *distanţa* galaxiilor faţă de Pămînt, care indică la rîndul ei deplasarea spre roşu, omonimia este îndepărtată; ea se bazează pe un aparat formal complicat şi, pînă la urmă, pe convenţii destul de fragile.

2. Cea de-a doua dificultate este mai gravă — şi de nedepăşit în mod riguros. Deoarece lumina se propagă repede, iar structurile cosmice evoluează lent, în raport cu unităţile umane, astronomia locală poate neglija întîrzierea informaţiei. Dar, la drept vorbind, astronomia depărtărilor observă de fapt Universul în cele *patru* dimensiuni ale *substratum*-ului metric, cu toate că nu poate face măsurători directe decît în cele *două* dimensiuni ale sferei cereşti. Formulele cosmologiei teoretice pot prevedea rezultatele acestor măsurători, prin geometria spaţiu-timp-ului. Această geometrie nu poate spune însă nimic despre devenirea *fizică* a existenţelor cosmice singulare care, în mod sigur, suferă transformări a căror legătură cu expansiunea globală nu este încă bine stabilită. Vom vedea mai departe, referindu-ne la exemplul concret al unei încercări recente, cum încearcă cosmologia să ocolească obstacolul.

Din punctul acesta se deschid două căi de urmat pentru observaţie în vederea determinării valorii numerice a mărimilor care intră în relaţiile teoretice ale cosmologiei : cea a astronomiei optice tradiţionale şi cea a radioastronomiei. Ni se pare mai comod să separăm cele două contribuţii încă disparate.

A. Rezultatele astronomiei

Într-un studiu de sinteză publicat de revista Astrophysical Journal în 1961*, Allan Sandage, un astronom de la Mount Palomar, a cărui autoritate este necontestată, trecea în revistă toate *testele* posibile pe care observaţia astronomică le-ar putea aduce în favoarea cosmologiei şi propunea cîteva rezultate numerice, a căror valoare este destul de general acceptată. În ceea ce urmează ne vom sprijini în primul rînd pe acest studiu.

Între cele patru mărimi măsurabile de interes cosmologic — magnitudinea aparentă a galaxiilor, deplasarea lor spre roşu, diametrele unghiulare, sau distanţele unghiulare dintre ele, numărul lor într-o arie dată, pînă la o magnitudine dată — pot fi stabilite trei relaţii empirice care, în principiu, pot servi ca test pentru a discerne între diferitele modele, putîndu-se astfel calcula efectiv mărimile H_0, q_0 şi k**.

a. O relaţie care leagă deplasarea spre roşu a unei galaxii, z, de magnitudinea sa aparentă, m, căreia i s-au aplicat toate corecţiile necesare.

b. O relaţie care dă numărul de galaxii N, numărate într-o arie dată a sferei cereşti, pînă la o magnitudine dată, m, în funcţie de această magnitudine.

c. O relaţie care leagă diametrul aparent al unei galaxii de z sau m.

Chiar cu telescopul de cinci metri, testul *b* este, după Sandage, practic inutilizabil şi în această privinţă părerile par unanime. Erorile în determinarea magnitudinilor sînt prea mari pentru o definire utilă practic a magnitudinii limită pînă la care se numără. În plus, după McVittie, „operaţia de numărare a imaginilor gala-

---

* A. SANDAGE, *The Ability of the 200-Inch Telescope to Discriminate Between Selected World-Models*, Astrophys. J., 133, 2, 1961, pp. 355—391.

** Vezi Anexa, IV, p. 455. Nu am dat relaţiile în care figurează diametrul unghiular.

xiilor este obositoare și laborioasă, de unde consecința că numărătorile unui aceluiași observator, făcute pe un același clișeu, la momente diferite, pot să dea rezultate foarte diferite"[1]. Dacă s-ar căuta pe această cale o soluție empirică a problemei cosmologice ar însemna deci, după Sandage, „să se irosească timpul telescopului".

Această respingere unanimă și hotărîtă a metodei numărătorilor invită la cîteva considerații istorice. Căci, dispunînd de instrumente cu o rază de acțiune mai mică decît telescopul Hale, Hubble crezuse că prin această metodă poate supune cosmologia unei probe decisive, de a cărei valoare nu părea să se îndoiască[2]. Din faptul că rezultatele numărătorilor sale nu erau în acord cu ecuațiile cosmologiei relativiste decît dacă se presupunea o curbură a spațiului neverosimil de mare, Hubble trăsese concluzia că Universul static și euclidian rămînea, în ciuda deplasării spre roșu, cea mai bună reprezentare geometrică a datelor de observație. Nu ne putem împiedica să ne gîndim că astronomul de la Mount Wilson, care era un spirit clasic, ca și atîți alți mari descoperitori ai științei moderne, a fost poate victima, din aceleași motive, a aceluiași miraj care l-a făcut pe Einstein să vadă în Universul lui de Sitter o singularitate, iar în deducția ireproșabilă a lui Friedman, o eroare. În orice caz, prestigiul lui Hubble și al telescopului său era atît de mare, încît iluzia sa a avut asupra gîndirii cosmologice influențe importante, despre care am vorbit.

Relația *c*, între diametrul aparent al galaxiilor sau al roiurilor de galaxii și deplasarea lor spre roșu, necesită o discuție mai complicată, în care trebuie să intervină distincția dintre diametrul metric al obiectului și cele ale contururilor izofotelor sale, corecția care trebuie adusă formulelor clasice nefiind aceeași în cele două cazuri. Concluzia lui Sandage este că cu ajutorul telescopului Hale este posibilă în principiu o măsurare a lui q_0 pe această bază, dar că testul ar fi „dificil și poate secundar".

Rămîne deci relația *a*, aceea dintre deplasarea spre roșu și magnitudinea aparentă. Într-o primă aproximație ea permite determinarea constantei H_0, iar în cea de-a doua, determinarea lui q_0. Folosind rezultatul măsurătorilor făcute asupra obiectelor celor mai îndepărtate, Sandage reține ca posibile, mulțumită acestei relații, în afară de valoarea $H_0 = 75$ km pe secundă și pe milion

---

[1] G. C. McVITTIE, *Fact and Theory in Cosmology*, London, Eyre and Spottiswoode, 1961, p. 56.

[2] *The Realm of Nebulae*, *op. cit.*, pp. 182–202.

de parseci $\left(\frac{1}{H_0} = 13{,}5 \text{ miliarde de ani}\right)$ — pe care o stabilise cu cîţiva ani mai înainte — următoarele aproximaţii pentru q_0:

$q_0 = 2{,}45 \pm 0{,}8$ (folosind măsurătorile lui Humason, Mayall şi Sandage, 1956);

$q_0 = 1 \pm 0{,}5$ (folosind măsurătorile fotometrice ale lui Baum, 1957);

$q_0 = 1$ (folosind măsurătorile mai recente ale lui Baum, pe care le cunoştea, dar care nu au fost publicate decît mai tîrziu).

În această discuţie Sandage nu ţinuse cont de evoluţia fizică a galaxiilor. El a încercat cîteva luni mai tîrziu să umple această lacună într-un studiu caracteristic pentru empirismul subtil căruia îi este sortită cosmologia — atît de mîndră totuşi de rigoarea sa conceptuală — din momentul în care ea a intrat sub cupolele astronomiei [1]. Raţionamentul lui Sandage este într-adevăr un model de „metodologie necarteziană", pentru a parafraza formularea binecunoscută a lui Bachelard.

Într-adevăr, trebuie găsit mai întîi, prin tatonare, un reper pentru a estima numeric, în luminozitate, evoluţia acestei galaxii de referinţă tipice, care, în aproximaţia neevolutivă, intră în formule sub forma unei constante M, „magnitudinea absolută", reprezentînd un debit de energie luminoasă care este presupus, global, constant [2]. În acest punct intervine, într-o anumită măsură, astrofizica. Cunoştinţele dobîndite cu privire la stele şi la conţinutul stelar al galaxiilor permit construirea unui *model* simplificat de galaxie în evoluţie, dar, chiar înarmată cu acest model şi cu legea sa diferenţială de evoluţie, problema rămîne nerezolvabilă riguros. Pentru a aplica magnitudinilor observate corecţia de evoluţie, ar trebui să cunoaştem timpul de evoluţie, ceea ce implică cunoaşterea lui q_0, care depinde la rîndul său de magnitudinile corectate... Sandage o scoate la capăt intrînd în cerc: el foloseşte o metodă de aproximaţii succesive analoagă formal celei care, sub acest nume, permite rezolvarea clasică a unor probleme fundamentale ale analizei. Pornind de la valoarea de tatonare $q_0 = 1$, obţinută de către Baum în ipoteza că galaxiile nu evoluează global într-un interval egal cu timpul de parcurs, el obţine o primă corecţie a magnitudinilor, care permite o evaluare modificată a lui q_0 şi aşa mai departe. Or valorile succesive astfel obţinute converg spre o limită pe care Sandage o găseşte, la a patra iterare, foarte

---

[1] *The Light Travel Time and the Evolutionnary Correction of Magnitudes of Distant Galaxies*, Ap. J., 134, 1961, pp. 916–926.

[2] Vezi Anexa, XI, ec. 158.

apropiată de $q_0 = 0{,}2$. Pe lîngă aceasta, el arată cît de „sensibile" sînt rezultatele la variaţiile modelului de galaxii ales, ceea ce îndeamnă la prudenţă în evaluarea lui q_0 în absenţa unor cunoştinţe mai precise cu privire la conţinutul stelar al marilor sisteme de stele. Aceasta ilustrează de asemenea adevărul important şi fundamental din dialectica teoriei stării staţionare, după care orice concesie excesivă făcută devenirii riscă să facă să ne scape cunoaşterea.

Dacă valoarea lui H_0 este nedeterminată în toate teoriile, nu acelaşi lucru se întîmplă cu valorile lui q_0. În relativitatea cinematică, expansiunea este liniară şi q_0 este nul. În teoria stării staţionare q_0 este egal cu -1. În cosmologia relativistă, valoarea lui q_0 depinde de modelul ales; ea este negativă pentru toate modelele în care expansiunea se accelerează în epoca actuală, cum este modelul Lemaître-Eddington sau modelul lui Lemaître; ea este pozitivă în cele în care expansiunea se încetineşte, şi în special în toate modelele care sînt soluţii ale ecuaţiilor lui Friedman cu $\Lambda = 0$; în particular, în modelul Einstein- de Sitter, $q_0 = \frac{1}{2}$*.

Rămînînd la valorile lui Sandage, se impun două remarci:

a. q_0 este mic în valoare absolută; altfel spus, în epoca actuală expansiunea diferă foarte puţin de o expansiune liniară.

b. Pînă în prezent, toate estimările propuse pentru acest parametru sînt pozitive. Aceasta este o obiecţie serioasă împotriva modelului teoriei stării staţionare şi, în cosmologia relativistă, împotriva modelelor Lemaître-Eddington şi Lemaître, care s-au bucurat de o anumită apreciere pînă spre 1950. În schimb, este o indicaţie în favoarea modelului lui Einstein cu constantă cosmologică nulă, cu consecinţa supărătoare că expansiunea fiind în prezent în curs de încetinire, data singularităţii, care există în toate aceste modele, este situată la mai puţin de $\frac{1}{H_0}$ (evaluată la nouă miliarde de ani, dacă folosim modelul Einstein-de Sitter **).

Determinarea lui k, constanta curburii spaţiale, este şi mai nesigură decît cea a lui q_0. Dacă renunţăm să folosim metoda numărătorilor şi metoda măsurătorilor unghiulare, această determinare nu se poate face empiric decît prin aplicarea ecuaţiilor lui Friedman, adică considerînd cosmologia ca o aplicaţie a relativităţii generalizate. Ecuaţiile lui Friedman conţin însă şi alte mărimi,

* Vezi Anexa, VI, ec. (63, 64, 67).
** Vezi Anexa, fig. III şi IV.

care nu pot fi determinate total din observaţie, cum ar fi, pe de o parte, constanta cosmologică Λ şi, pe de alta, presiunea şi densitatea „fluidului cosmic" în epoca actuală, p_0 şi ρ_0^*.

Pentru p_0 nu există nici o dificultate. Această mărime poate fi considerată nulă, avînd în vedere raritatea relativă a radiaţiei faţă de a materiei şi valoarea mică a vitezelor mecanice locale faţă de viteza luminii. Pentru ρ_0 este posibilă o estimare semiempirică dacă se cunoaşte H_0, pornind de la măsurătorile făcute într-o regiune a Universului suficient de vastă pentru a oferi un eşantion rezonabil şi totuşi suficient de restrînsă pentru a rămîne dincoace de limitele la care încep marile incertitudini. Un calcul al lui Oort, unanim acceptat, dădea, în 1958 **, valoarea minimă de $3{,}1 \cdot 10^{-31}$g/cm³; Oort admitea că acest număr ar putea fi multiplicat cu zece „sau mai mult". Este evident că o estimare empirică a densităţii nu poate da decît o limită inferioară, căci ea nu poate ţine cont decît de materia vizibilă sau, cel puţin, de cea a cărei prezenţă produce efecte observabile. Or spaţiile intergalactice sînt atît de vaste încît în ele ar putea exista enorme cantităţi de materie, dar într-o stare atît de rarefiată încît observatorului uman i-ar fi imposibil să le detecteze. Unde se află pragul dincolo de care materia „ascunsă" şi-ar semnala cu necesitate prezenţa, sub o formă sau alta? În stadiul actual pare dificil a-l evalua cu oarecare precizie: în funcţie de starea sa termică sau electrică, materia are, la densităţi egale, şanse foarte variabile de a se face cunoscută. În orice caz, dacă unii autori se menţin aproape de valoarea lui Oort, alţii nu ezită să o multiplice cu o sută [1].

Cît despre Λ nu este posibilă nici o determinare empirică şi nu avem nimic de adăugat la ceea ce am spus la sfîrşitul capitolului III. Nedeterminarea valorii acestei constante rămîne astăzi, ca şi acum treizeci de ani, principalul neajuns al cosmologiei relativiste. Acestea fiind spuse, sînt posibile două procedee pentru determinarea lui k aplicînd ecuaţiile lui Friedman la epoca cosmică actuală:

---

* Vezi Anexa, V, ec. 57.

** *Distributions of Galaxies and the Density in the Universe*, în *La Structure et l'Évolution...*, *op. cit.*, p. 163. Oort se sprijină pe numărătorile făcute pînă la magnitudinea $m = 18$, adică mult sub magnitudinea limită atinsă de telescopul Hale ($m = 23$); el admite formula clasică, cu valorile numerice ale lui Hubble pentru relaţia număr-magnitudine, şi adoptă pentru H_0 valoarea lui Sandage.

[1] Spre exemplu, Bondi dă $5 \cdot 10^{-29}$ g/cm³ (*Cosmology*, *op. cit.*, ed. a II-a, 1960, p. 46). În prima ediţie, din 1952, el propunea chiar o valoare de o sută de ori mai mare.

a. Se hotărăşte aprioric, pe baza principiului economiei conceptuale, că Λ este zero; în acest caz valoarea densităţii ρ_0 nu mai este independentă de cea a lui q_0. Trebuie deci să se verifice compatibilitatea dintre cele două rezultate empirice, care de fapt poate fi considerată acceptabilă, avînd în vedere marile incertitudini legate de o estimare sau alta.

b. Se pleacă de la valoarea empirică a densităţii şi, combinînd-o cu valorile lui q_0, se încearcă să se obţină în acelaşi timp informaţii asupra lui Λ şi k.

Aplicînd procedeul *a* cu valorile date de Sandage, Couderc [1] găseşte $k < 0$, adică un spaţiu infinit şi neeuclidian; cu ajutorul metodei *b*, McVittie [2], luînd valori sensibil mai mari pentru H_0 şi q_0, ajunge la concluzia că $\Lambda < 0$ şi $k < 0$; concluzia sa rămîne valabilă dacă se ia pentru ρ_0 o valoare de zece ori mai mare decît cea a lui Oort, iar pentru q_0 valoarea lui Sandage (în schimb, dacă se aplică procedeul *a* cu valorile pe care le-a luat McVittie pentru H_0 şi q_0, se obţine o curbură pozitivă...).

În concluzie şi ca un rezumat la cele spuse, dacă se confruntă în modul cel mai direct cu observaţia optică un model de univers structurat de o metrică robertsoniană, se constată că:

1. Deplasarea spre roşu a nebuloaselor exclude metricile statice şi îşi găseşte o explicaţie simplă, suficientă şi, pentru moment, unică, în existenţa unei metrici în expansiune.

2. Toate investigaţiile actuale indică pentru parametrul de decelerare q_0 o valoare care este (α) pozitivă şi (β) mică în valoare absolută. Proprietatea (α) semnifică faptul că în epoca actuală expansiunea se încetineşte. Aceasta este contrar prevederilor teoriei stării staţionare şi ale modelelor relativiste, care au conferit popularitate ideii de univers în expansiune acum treizeci de ani. Aceasta sugerează, în schimb, că Einstein avusese dreptate. Proprietatea (β) este confirmată în special de ultimele evaluări ale lui Sandage. Aceasta sugerează că expansiunea nu este departe de a fi liniară şi că modelul în expansiune uniformă oferit de relativitatea cinematică este în orice caz o bună aproximaţie. Considerate împreună, proprietăţile (α) şi (β) arată că problema singu-

---

[1] *Des plus grandes distances aux plus grandes durées*, L'Astronomie, 76, 1962, p. 337.

[2] *Fact and Theory...*, *op. cit.*, pp. 144—145. Publicarea acestei lucrări este anterioară celei a studiului lui Sandage.

larităţii cosmice, la o distanţă relativ mică în trecut — cel mult egală cu treisprezece miliarde de ani — nu poate fi ocolită[1].

3. Determinarea lui k, care decide structura spaţiului, este foarte nesigură, cu toate că datele actuale sugerează că spaţiul ar fi hiperbolic şi nu prea încurajează ipoteza finitistă, pe care se sprijiniseră Lemaître şi Eddington. Această nedeterminare sugerează în orice caz că, chiar la scări foarte mari, geometria tradiţională rămîne o aproximaţie foarte bună. Modelul lui Einstein-de Sitter prezintă sub acest raport un mare avantaj.

4. În ipotezele relativităţii generalizate, calculele lui McVittie duc la o valoare negativă pentru Λ; trebuie deci avută în vedere posibilitatea unui Univers oscilant, căci toate soluţiile ecuaţiei lui Friedman sînt periodice dacă $\Lambda < 0$.

În concluzie, ceea ce sugerează în prezent partea de observaţie astronomică legată cel mai direct de problema cosmologică este un Univers robertsonian, a cărui expansiune este în curs de încetinire slabă în epoca actuală, în care spaţiul este infinit şi foarte puţin diferit de spaţiul euclidian la scara oricăror măsurători umane, chiar a celor mai îndepărtate, şi care a trebuit să se găsească, acum cîteva miliarde de ani, într-o stare foarte diferită de cea în care îl vedem în prezent, stare caracterizată mai ales de o densitate foarte mare a materiei-energiei.

Oricît de restrînse ar fi, aceste concluzii rămîn fragile. Observaţii noi, doar cu puţin mai precise, pot să le modifice. Pentru a ne convinge de acest lucru să remarcăm, de exemplu, că în 1955, pe baza valorilor numerice considerate ca cele mai verosimile la acea epocă (telescopul Hale era de acum folosit de şase ani), Robertson considera că mult timp va fi imposibilă determinarea lui k şi aprecia că în cosmologia relativistă era verosimilă o valoare pozitivă a lui Λ.

Mai mult, oricare ar fi valoarea observatorilor, a metodelor şi a instrumentelor, putem să ne temem întotdeauna de apariţia unor erori sistematice, aşa cum s-a mai întîmplat în istoria relativ recentă a cercetărilor extragalactice. Cea mai „clasică" dintre aceste erori şi cea mai dificil de evitat — pentru că ţine de natura cosmologiei — constă în a atribui în mod fals proprietăţile galaxiei tipice unei clase particulare de obiecte, care se impune insistent şi abuziv, pentru că este mai uşor de observat. (Dacă, de exemplu, se consideră ca normală o galaxie care de fapt este deosebit de strălucitoare, se subestimează distanţa sa.) Obiecţia nu a scăpat de a fi adusă, pe drept sau pe nedrept, cercetărilor ale căror rezultate tocmai au fost expuse foarte pe scurt.

[1] Lucrul acesta a fost confirmat prin descoperirea radiaţiei izotrope remanente de 2,7 K. —*N.T.*

B. Radioastronomia

Cu marile instrumente optice care se găsesc în prezent în funcţiune în lume şi cu dispozitivele ultraperfecţionate cu care sînt dotate, observarea Universului îndepărtat cu ajutorul luminii pare să fi atins un fel de palier care nu va fi depăşit decît foarte lent. În schimb, radioastronomia este în plin avînt şi optimismul în acest domeniu este mult încurajat de precedente strălucite. Într-adevăr, în mai puţin de douăzeci de ani, radiotelescoapele au rezolvat probleme astronomice de primă importanţă, care depăşeau posibilităţile tehnicilor optice: de exemplu, forma spirală a Galaxiei şi dispunerea spirelor faţă de sensul de rotaţie.

Lăsînd la o parte radiaţia care provine din sistemul solar, partea cea mai uşor detectabilă a undelor radio de origine cosmică este o emisie continuă cu structură complexă, dar deosebit de intensă de-a lungul întregului plan galactic. Cauza acestei radiaţii este în afară de orice îndoială: ea provine din fenomene fizice diferite care se produc în materia difuză a Galaxiei şi de aceea conţine informaţii de primă importanţă cu privire la structura sistemului galactic, dar nu prezintă interes direct pentru cosmologie.

Totuşi, încă de la începuturile „ascultării" radioelectrice a cerului, nu au întîrziat să fie captate emisii de un tip diferit, iar generalitatea lor s-a confirmat pe măsură ce instrumentaţia s-a perfecţionat. Pe fondul continuu se detaşează surse de emisie mai mult sau mai puţin strict localizate. Au fost numite la început „radiostele" apoi, mai prudent, „radiosurse" atunci cînd s-a dovedit că probabil nu erau stele. În prezent studiul radiosurselor este suficient de avansat pentru a permite distingerea, esenţială pentru cosmologie, a două clase de astfel de obiecte: sursele de tip I, situate în apropierea planului galactic şi care ar fi obiecte interioare Galaxiei (nori de hidrogen ionizat, rămăşiţe ale exploziilor stelare), şi sursele de tip II, repartizate pe întreaga boltă cerească, cele mai numeroase, care ar putea fi exterioare Galaxiei. Sînt ele într-adevăr? Sînt asimilabile galaxiilor? S-a discutat mult despre acest lucru, dar în prezent nu mai există nici o îndoială, izotropia distribuţiei lor fiind un argument care convinge uşor. Or caracterul cel mai remarcabil şi cel mai neaşteptat al radiosurselor dă naştere în acelaşi timp la cele mai mari speranţe şi la cele mai mari dificultăţi: cel mai adesea este imposibil ca ele să fie identificate cu obiecte detectabile optic[1].

[1] Pînă în prezent, au fost detectate mai multe mii de radiosurse. Dintre ele, numai cîteva zeci au fost identificate cu obiecte vizibile. (A. BOISCHOT, *Radio-Astronomie galactique et métagalactique*, în *L'Astronomie*, *op. cit.*, p. 987.)

În privinţa motivelor acestei dificultăţi părerile sînt încă împărţite : se poate da vina pe imprecizia în localizarea surselor în radioastronomie, imprecizie care rezultă din slaba putere de separare a radiotelescoapelor. Se pare însă că există şi motive intrinseci. Identificarea optică a radiosurselor, cînd este posibilă, şi, invers, explorarea sistematică, în gama radio, a galaxiilor celor mai strălucitoare optic au dus la concluzia că, dacă radiosursele sînt galaxii, este vorba de galaxii „anormale", prezentînd particularităţi structurale care fac ca radiaţia lor radio să fie mult mai importantă în raport cu radiaţia lor luminoasă decît în cazul obişnuit. De exemplu, după una din interpretările propuse — şi contestate — anumite radiosurse ar fi galaxii în ciocnire. Dacă o astfel de „ciocnire" are foarte puţine şanse de a perturba radiaţia stelelor (acestea sînt atît de dispersate încît probabilitatea unei întîlniri directe este neglijabilă), ea poate în schimb să producă o serioasă turbulenţă în norii difuzi din galaxii. O astfel de agitaţie ar fi sursa unei emisii radioelectrice extrem de puternice. În prezent se ia mai puţin în consideraţie decît acum cîţiva ani ipoteza ciocnirilor. În orice caz, un proces fizic atît de grandios încît să transforme o galaxie în radiosursă nu poate fi decît o transformare cu totul excepţională în evoluţia sa.

Tocmai lucrul acesta trezeşte interesul cosmologic : s-ar putea ca radiosursele neidentificate optic, adică marea lor majoritate, să fie galaxii extrem de îndepărtate, a căror radiaţie optică este prea slabă pentru a fi detectată chiar cu cele mai bune telescoape. Dispunînd de instrumente şi de metode suficiente, radioastronomia ar putea să înlocuiască astronomia tradiţională în observarea Universului îndepărtat şi să împingă mai departe limita observabilului.

Cîteva rezultate, destul de recente, dar pe bună dreptate deja celebre, încurajează această interpretare. În 1959, mai multe observatoare radioastronomice semnalaseră o sursă într-un punct din constelaţia Bouarul în care nu fusese văzut nici un obiect pînă atunci ; după intensitatea sursei se putea presupune că, dacă era vorba de o galaxie, aceasta trebuie să fie extrem de îndepărtată. Telescopul Hale a fost îndreptat în această direcţie şi s-a descoperit un roi slab de galaxii. Cea mai strălucitoare dintre ele, de magnitudine 20,9, părea să fie radiosursa căutată. După o expunere de nouă ore, Minkowski reuşeşte să obţină spectrul acestui astru extrem de slab. Era un record — ca şi rezultatul, dealtfel : o deplasare spre roşu de 0,46, adică o viteză de recesiune de o sută treizeci şi opt de mii de kilometri pe secundă,

şi o distanţă de ordinul a şase miliarde de ani-lumină [1]. Măsurînd la rîndul său deplasarea spre roşu a acestui obiect prin metoda fotometrică descoperită de el, Baum obţine un rezultat într-o concordanţă remarcabilă cu cel al lui Minkowski : $z = 0{,}44 \pm 0{,}03$. Se dovedise deci că observaţia radioastronomică poate să ajungă cel puţin tot atît de departe ca observaţia optică, a cărei precizie deosebită era demonstrată în acelaşi timp.

Această frumoasă promisiune are totuşi reversul său amar. În lipsa posibilităţii identificării unei radiosurse cu un obiect vizibil, radioastronomia nu dispune pentru moment de nici un mijloc de măsurare a distanţei sursei, astfel încît nu este posibil să se facă direct nici măcar deosebirea dintre o sursă extragalactică şi o sursă interioară Galaxiei. Pe de altă parte, detecţia undelor radio comportă riscurile unor erori specifice, deosebit de mari pentru sursele slabe, erori care au falsificat în mare măsură rezultatele primelor investigaţii sistematice la scară mare. Pentru ca aceste riscuri să fie îndepărtate, pentru ca Universul radioastronomic să fie corect amplasat şi să se racordeze exact cu Universul vizibil, vor fi necesare fără îndoială cercetări îndelungate şi minuţioase, precum şi instrumente mai bune.

Va fi necesară de asemenea o cunoaştere mai precisă a naturii fizice a radiosurselor, pentru ca semnificaţia lor cosmologică să fie stabilită exact. Cosmologia empirică, căutînd înainte de toate o viziune panoramică a unor entităţi cosmice oarecare, are nevoie de un criteriu de banalitate. Pentru moment *galaxia* joacă de bine de rău rolul „omului oarecare" din Univers; va putea şi *radiosursa* să joace acest rol? De fapt, aşa cum am spus, radiosursele care sînt identificate optic sînt considerate mai curînd ca „anormale". Trebuie deci cunoscută mai bine natura acestei „anomalii" şi gradul ei de banalitate, pentru a acorda radiosurselor acest rol [2].

Identitatea fizică fundamentală dintre radiaţia radio şi radiaţia luminoasă face ca în principiu aceleaşi relaţii să stea la baza unor teste pentru cosmologie, atît în radioastronomie cît şi în astronomie. Dar, de fapt, diferenţele sînt importante: relaţia *a* (deplasare spre roşu-magnitudine), esenţială în astronomie, este pentru moment inaplicabilă pentru undele radio, unde nu este

---

[1] P. COUDERC, *Des plus grandes...*, *art. cit.*, p. 332. Pentru a fixa ideile, precizăm că magnitudinea galaxiei în cauză este la limita accesibilităţii telescopului Hooker de 2,45 m de la Mount Wilson, care a fost principalul instrument al lui Hubble; telescopul Hale de 5,08 m atinge magnitudinea 23.

[2] Această constatare a fost confirmată de cercetările ulterioare, ceea ce a dus la abandonarea teoriei stării staţionare. —*N. T.*

măsurabilă nici o deplasare spre roşu. Dimpotrivă, relaţia *b* (număr-magnitudine), a cărei utilizare este limitată în astronomie, stă în prezent — pe drept sau pe nedrept — la baza tuturor testelor radioastronomice. Pe de altă parte, structura radiaţiei radio şi, fără îndoială, scara sa de timp sînt diferite de cele ale radiaţiei optice. Într-adevăr, în toate sursele metagalactice, sau presupuse astfel, radiaţia radio este vizibil netermică şi distribuţia energiei după frecvenţe ascultă de o lege cu totul diferită de cea care este valabilă pentru radiaţia luminoasă a galaxiilor. S-ar putea, dealtfel, ca „luminozitatea" radiosurselor să evolueze mult mai repede decît luminozitatea galaxiilor. Toate aceste motive fac ca spinoasa problemă a relaţiei dintre cosmologia teoretică şi observaţie să fie pusă din nou în discuţie, în această perspectivă, problemă de care se ocupă diverşi autori, în special Davidson [1].

Din ultima numărătoare de radiosurse publicată, cea de la Cambridge din 1961, rezultă că numărul de radiosurse creşte cu „magnitudinea" — adică pe măsură ce scade intensitatea — mai repede decît dacă radiosursele ar fi distribuite uniform într-un Univers static şi euclidian şi, cu atît mai mult, în Universul lui de Sitter. Această concluzie depinde de justeţea diferitelor postulate cu privire la natura fizică a radiosurselor (postulate pe care susţinătorii teoriei stării staţionare nu sînt bineînţeles dispuşi să le accepte fără critică). Autorii studiului ajung totuşi la concluzia că cosmologia stării staţionare este incompatibilă cu rezultatele lor [2]. Davidson, care nu-şi ascunde totuşi preferinţa epistemologică pentru această teorie, ajunge la aceeaşi concluzie cu autorii numărătorii, dar, abordînd într-un fel problema de la cealaltă extremă, se întreabă în ce condiţii un Univers robertsonian nestaţionar ar putea fi compatibil cu numărătorile de la Cambridge. El deduce o condiţie destul de strictă pentru scăderea puterii radiosurselor cu epoca cosmică. Admiţînd apoi realitatea acestei scăderi, Davidson caută *potrivirea* cu numărătorile pentru modele „plate" $(k = 0)$ şi $R(t) = \text{const} \times t^n$, cu $\frac{1}{3} \leqslant n \leqslant \frac{2}{3}$. El găseşte o valoare puţin mai mică decît $\frac{2}{3}$, ceea ce readuce în atenţie o dată mai mult Universul lui Einstein-de Sitter şi enigma originilor şi a istoricităţii, asociată întregii clase de astfel de

1 W. DAVIDSON, *The Cosmological Implications of the Recent Counts of Radio-Sources*, I: M.N.R.A.S., 123, 5, 1962, pp. 425–435; II: *Ibid.*, 124, 1962, pp. 79–93.

2 M. RYLE, R. W. CLARKE, *An Examination of the S. S. Model in the Light of Some Recent Observations of Radio-Sources*, M.N.R.A.S., 122, 4, pp. 349–361.

modele şi care capătă aici pur şi simplu o nouă formă: provine oare fenomenul de radiosursă dintr-o transformare unică în istoria fiecărei galaxii, sau a unora dintre ele, în istoria — ea însăşi unică — a „regatului nebuloaselor"?

Nu trebuie totuşi să ne facem iluzii cu privire la precizia rezultatelor lui Davidson; ea nu a fost obţinută decît prin adăugarea, în raţionament ca şi în calcul, a unor diverse ipoteze de lucru. Pe de altă parte, concluziile lui Ryle şi Clarke sînt contestate pe planul observaţional de un alt radioastronom, Hanbury Brown, de la Jodrell Bank (Anglia), convins, din motive tehnice precise, că, pentru moment, în radioastronomie nu se poate acorda mai mult credit metodei numărătorilor decît în astronomie [1]. Diferite precedente invită în orice caz la prudenţă.

N-am putea vorbi deci pentru moment, nici măcar în sens limitat, de soluţionarea problemei cosmologice prin observaţie. Mai întîi, observaţia nu decide dacă structura Universului trebuie considerată ca o determinare particulară a legii relativiste a gravitaţiei, sau ca o formă geometrică şi cinematică, independentă de orice teorie a forţelor fizice. Metrica lui Robertson, singura construcţie teoretică verificată pînă în prezent în mod satisfăcător, este în acord în anumite condiţii cu teoria relativităţii generalizate, dar nu depinde de aceasta şi poate fi obţinută aprioric. Pînă acum au fost făcute două încercări de a o specifica aprioric: teoria relativităţii cinematice şi teoria stării staţionare; ambele conduc la rezultate incompatibile cu ecuaţiile relativiste. Observaţia optică nu exclude deloc, la ora actuală, modelul liniar al lui Milne, după cum am văzut. Acest model suscitînd astăzi mult mai puţin interes decît modelul staţionar, confruntarea proprietăţilor sale cu observaţia radioastronomică nu pare să fi fost cercetată sistematic. În orice caz, nu se ocoleşte dificultatea singularităţii iniţiale. Teoria stării staţionare o suprimă, după cum se ştie, şi principiul cosmologic perfect, ca şi ipoteza staţionarităţii, sînt minunate fire ale Ariadnei în labirintul cosmologiei empirice. Dar, aşa cum am văzut, datele actuale ale astronomiei şi ale radioastronomiei nu îi sînt prea favorabile.

Este adevărat, aşa cum notează Bondi [2], că previziunile sale fiind mai nete şi mai precise decît ale oricărei cosmologii „evolutive", imprecizia, care este o regulă în cosmologia depărtărilor, îi este deosebit de defavorabilă. Echitabil este să reamintim şi

---

[1] R. HANBURY BROWN, *Clustering, Cosmology and Source Counts*, M.N.R.A.S., 124, *1*, 1962, pp. 35—48.

[2] *Cosmology, op. cit.*, p. 157.

efectul Stebbins-Whitford de înroşire a galaxiilor eliptice, din care se obţinuse un argument reputat ca invincibil împotriva ipotezei staţionarităţii. Acesta fusese însă numai un miraj. Totuşi, Hoyle trebuie să fi considerat consecinţele numărătorilor radioastronomice de la Cambridge destul de serioase pentru a întreprinde, cu această ocazie, împreună cu Narlikar, o revizuire în stil mare a cosmogoniei Universului staţionar [1]. Şi, dacă considerăm ca *realităţi* rezultatele raţionamentelor lui Sandage, Ryle, Davidson, trebuie cu părere de rău să înlăturăm teoria stării staţionare. Dar faptul de a fi cunoscut această teorie face să nu ne mai putem întoarce fără reţinere la cosmologia relativistă, căci această reîntoarcere la „ortodoxism" se face în condiţii proaste pentru că observaţia indică modele pe cale de decelerare, deci cu un trecut cosmic scurt.

Or această durată scurtă de evoluţie cosmică nu este în acord cu ceea ce se poate şti despre durata de evoluţie a stelelor şi a sistemelor de stele, durată care este în general de acelaşi ordin de mărime dar în anumite cazuri este sensibil mai lungă, în aşa fel încît modelele care satisfac relaţia deplasare spre roşu-magnitudine, aşa cum este ea observată, sînt în dezacord cu scara timpului.

Astfel, enigma care, din 1930, îi sfida pe inventatorii cosmologiei moderne şi producea marea mişcare de gîndire pe care am descris-o, nu este nici astăzi mai aproape de o soluţionare empirică. O ameliorare a situaţiei s-a produs începînd din 1952, după ce W. Baade, exploatînd primele rezultate obţinute cu telescopul Hale în regiunile metagalactice, a anunţat că scara distanţelor lui Hubble trebuia multiplicată cu doi, ceea ce dubla şi valoarea lui $\frac{1}{H_0}$, vîrsta expansiunii. Ca urmare, scara timpului cosmic se măreşte încă..., dar, paralel, astrofizica prelungeşte durata proceselor care trebuie să se încadreze în această scară şi dialectica originilor este în continuare alimentată de contradicţiile cunoaşterii empirice.

Pe de altă parte, dacă în faţa acestei probleme cosmologia relativistă este în măsură să-şi dovedească supleţea şi capacitatea de adaptare—motive pentru care cosmologii deductivişti manifestă un anumit dispreţ faţă de ea, aşa cum am văzut — acest lucru nu duce la un cîştig evident. Modificînd relaţia dintre ρ şi p în ecuaţiile lui Friedman, se poate adapta soluţia la o stare a materiei

---

[1] F. HOYLE, J. V. NARLIKAR, *On the Counting of Radio-Sources in S. S. Cosmology*, M.N.R.A.S., 123, 1961, pp. 133—166.

cosmice foarte diferită de starea actuală. Aşa cum au demonstrat Tolman şi Zanstra, însă, nu există nici o posibilitate de a evita trecerea prin starea singulară, cel puţin în cadrul robertsonian. Cît despre abandonarea ipotezelor robertsoniene, acesta este un fapt promiţător dar arbitrar şi din momentul în care ne atingem de timpul cosmic paradoxurile se arată la orizont... Se arată chiar şi cînd nu ne atingem de timpul cosmic. Căci chiar păstrînd ipoteza einsteiniană $\Lambda = 0$ şi chiar admiţînd, mai mult, ca McVittie, că $\Lambda < 0$, riscăm să ajungem la un model periodic, cu toate dificultăţile care pot rezulta în legătură cu sensul timpului.

În această privinţă, teoria stării staţionare îşi manifestă cel puţin virtuţile polemice. Cînd Baum a prezentat la Societatea regală de astronomie din Anglia rezultatele cercetărilor sale asupra Universului îndepărtat şi a subliniat minunata concordanţă dintre rezultatele sale — obţinute prin fotometrie — şi cele ale lui Minkowski obţinute prin spectroscopie — cu privire la cunoscuta radiosursă 3C 295, depistată cu telescopul Hale la o distanţă de aproximativ şase miliarde ani-lumină, Bondi a fost acela care a tras concluzia cosmologică cea mai frapantă din acest extraordinar sondaj [1]. Fotometria galaxiilor apropiate este cea care i-a furnizat lui Baum curbele etalon care permit măsurarea decalajului radiaţiei în magnitudine şi frecvenţă. Faptul că această metodă dă rezultate în concordanţă cu cele spectroscopice dovedeşte deci că galaxiile au evoluat puţin în şase miliarde de ani. Totuşi, aceste şase miliarde de ani reprezintă o fracţiune destul de importantă din timpul maxim acordat evoluţiei totale a galaxiilor, prin valoarea găsită pentru q_0. Ar trebui deci ca galaxiile să fi evoluat foarte rapid spre o stare cvasistaţionară, ceea ce nu reprezintă o ipoteză prea satisfăcătoare. Printre rîndurile intervenţiei lui Bondi se citeşte clar că ipoteza staţionarităţii este singura care se poate debarasa o dată pentru totdeauna de dificultăţi de acest gen...

Dar trebuie să constatăm în concluzie că logica nu este în cosmologie de partea observaţiei, ale cărei rezultate mai curînd duc gîndirea la un impas în dialectică decît s-o elibereze.

---

[1] The Observatory, 81, *293*, 1961, p. 114.

Capitolul XI

PE FIRUL IDEILOR ŞI AL EVENIMENTELOR

I

În ciuda celor patruzeci de ani de cercetări despre a căror îndrăzneală, amploare şi diversitate am vorbit, nu se poate spune că locul cosmologiei în gîndirea ştiinţifică a timpului nostru este net stabilit, şi nici că s-ar fi împrăştiat echivocurile care încă de la început i-au conferit un caracter original.

Cu toate că s-a mărit enorm, Universul s-a apropiat indiscutabil. Pentru a ne convinge, nu este suficient să remarcăm că termenul „cosmic" a devenit, după termenii „dialectic" şi „valoare", împreună cu termenul „lingvistic", spuma retoricii contemporane. Succesul cuvintelor-cheie se bazează adesea pe atribuirea unui sens opus sau pe confuzii; aşa se întîmplă şi aici. Adevărata apropiere a „cosmicului" se remarcă după semne mai puţin vizibile.

Mai întîi s-a dobîndit în mod rezonabil certitudinea că astronomia are despre Univers o viziune la scară mare şi panoramică. Este plauzibil să credem că ceea ce vedem din Univers nu este poate decît o parte infimă, dar reprezentativă, şi că această fracţiune formează în orice caz o parte care nu este neglijabilă din ceea ce omul va putea vedea vreodată. Căci, chiar dacă modelul teoretic adecvat al lumii reale nu comportă un „orizont" [1], expansiunea impune de fapt o limită a Universului vizibil, situată destul de aproape de posibilităţile de mărire a instrumentelor.

Mai mult, frumoasa ordine pe care Comte o stabilise în clasificarea ştiinţelor este desigur foarte mult perturbată: fizica nucleului atomic nu este nici „cerească", nici „terestră". Experienţa de laborator dă cheia pentru înţelegerea spectrogramelor aştrilor şi, în schimb, Soarele şi materia interstelară servesc drept modele pentru transformări irealizabile pe suprafaţa Pămîntului. Astronomia, fizica, microfizica se îmbogăţesc reciproc, iar fizicianul ato-

---

1 Vezi Anexa IV, spre sfîrşit.

mist nu mai poate, din punct de vedere profesional, să se dezintereseze de Univers şi nici astronomul de elemente.

Există astăzi motive mai profunde care să lege şi mai strîns fizica de cosmologie decît s-ar fi putut crede acum cincizeci de ani. Cadrul geometric al măsurătorii, operaţia de măsurare sau fenomenul măsurat nu mai sînt noţiuni pe care să le putem distinge folosindu-ne numai de bunul simţ. Or, problema *substratum*-ului metric al lumii fizice s-a impus, încă de la început, şi chiar din momentul în care se evidenţia originalitatea cunoaşterii microfizice, ca o problemă centrală a cosmologiei. Chiar dacă speculaţiile cu privire la relaţiile efective dintre numerele mari din cosmologie şi cele din microfizică nu au dat pînă în prezent rezultate prea edificatoare, în orice caz toate ramurile fizicii fundamentale au de suportat fiecare în parte consecinţele aceleiaşi răsturnări conceptuale: cunoaşterea experimentală şi raţională a naturii nu mai poate dispune întotdeauna şi în mod sigur de o aceeaşi structură metrică. Relaţiile dintre proprietăţile spaţiului şi ale timpului şi cele ale entităţilor care intră în operaţiile experimentale şi teoretice au devenit o problemă complicată.

Este oare suficient ca problema să fie tratată la fiecare scară cu mijloacele potrivite, aşa cum o fac microfizica, fizica moleculară, clasică sau relativistă, cosmologia? Trebuie ca, într-un anumit sens, spaţiul şi timpul să fie „aceleaşi" la toate nivelurile şi ca scările să se racordeze, căci altfel experienţa noastră nu le-ar putea lega în sisteme coerente. Este dificil pentru fizică să se dezintereseze complet de cosmologie atunci cînd ea constată, de exemplu, că expansiunea, fenomen cosmic, afectează poziţia pe o spectrogramă a liniilor atomice care rezultă dintr-o tranziţie cuantică.

Nu este vorba de faptul că fizica ar fi dispusă să accepte bucuroasă acest schimb cu ştiinţa Universului, atît de incomod, atît de puţin conform cu exigenţele specializării. Imprecaţiile pe care le lansa Dingle acum treizeci de ani împotriva „cosmolatriei" sînt semnificative pentru o stare de spirit care nu-i aparţine în mod exclusiv.

De asemenea, nu se poate spune că ar fi uşor de situat exact cosmologia în raport cu celelalte ştiinţe fizice. Ea este, într-un sens, ştiinţa *substratum*-ului metric, a cărui cunoaştere ar trebui să specifice, în imensul domeniu al structurilor matematice posibile din punct de vedere logic, pe acelea care sînt mai potrivit adaptate definiţiei mediului general de existenţă şi formelor fundamentale de existenţă a fiinţelor fizice. Acest privilegiu nu poate fi acordat decît celor care îndeplinesc anumite condiţii:

ele trebuie să definească o natură ale cărei părţi să fie legate cauzal între ele şi care să poată oferi posibilitatea unei cunoaşteri obiective, nu pentru subiectul gînditor universal, ci pentru oameni, adică pentru fiinţe multiple, care fac parte ele însele din lume şi sînt separate unele de altele prin spaţiu, şi fiecare de ea însăşi prin timp. Chiar dacă presupunem că se elimină tot ceea ce este întîmplător în datele senzoriale, această dispersare în spaţiu şi timp le situează faţă de Univers într-o situaţie epistemologică esenţial diferită de cea care există între gîndirea lor şi obiectele lor ideale logice şi matematice, pentru că lumea este un sistem care este întotdeauna văzut şi gîndit din interior, dintr-un anumit punct spaţio-temporal din care însăşi prezenţa fiinţei gînditoare face un centru, în care converge informaţia şi din care radiază acţiunea.

Definită după acest program, cosmologia ar trebui să fie situată, la începutul fizicii, într-o regiune în care s-ar stabili o joncţiune între cunoaşterea matematică şi cunoaşterea fizică; tocmai acesta este modul în care Milne, şi, după el, Bondi au înţeles natura sa şi i-au fixat locul.

Dar cosmologia este şi ştiinţa întregului şi, conform noţiunilor obişnuite ale ştiinţei experimentale, cunoaşterea întregului trebuie concepută ca sinteza cunoaşterii părţilor. Discursul cosmologic ar trebui deci să nu se instituie decît la capătul unui proces de inducţie globală, care să racordeze cunoştinţele parţiale pe măsură ce ele se precizează şi se lărgesc. Şi tocmai acesta este modul în care concep astronomii cunoaşterea Universului. Dar atunci sinteza cosmologică riscă mult să fie un orizont care se retrage şi dă încontinuu iluzia unei împliniri înşelătoare, iar aceasta se împacă greu cu pretenţia la o determinare prealabilă a structurii metrice, pretenţie care este profund ancorată în gîndirea cosmologică şi care este, într-o anumită măsură, implicită în operaţiile de măsurare şi de numărare efectuate asupra Universului îndepărtat.

În orice caz, chiar dacă se ajunge să se facă această alegere dificilă pentru cosmologie între primul şi ultimul loc, îi rămîne particularitatea de a fi ştiinţa unui obiect unic, ceea ce o plasează dintr-o dată în afara normelor curente ale gîndirii ştiinţifice. Nu este întîmplător faptul că la originea cosmologiei moderne stă o problemă tehnică de *condiţii la limită*. Într-adevăr, dualismul faptului şi al legii, care nu este decît forma epistemologică a vechiului dualism metafizic al esenţei şi existenţei, este reprezentat destul de exact în fizică de opoziţia dintre ecuaţia diferenţială — sau cu derivate parţiale — şi condiţiile iniţiale sau condiţiile la

limită pe care le verifică integralele aplicabile sistemelor fizice particulare. Dar, desigur, această schemă nu se mai poate aplica exact atunci cînd este vorba de Univers, pentru că în acest caz este vorba de un sistem fizic unic a cărui lege de evoluţie nu poate avea alte aplicaţii. Trebuie deci ca condiţiilor existente să li se ataşeze o anumită necesitate logică, şi, invers, forma logică a Universului nu poate fi separată de existenţa sa.

Pentru Descartes, adevărurile eterne trebuiau să fi fost create. Pentru cosmologia modernă, legile naturii trebuie să existe în şi prin Univers.

De aceea, legătura ştiinţei cosmologice cu obiectul unic al atenţiei sale o privează de jocul obişnuit al legăturii de cauzalitate şi de manipularea obişnuită a principiului raţiunii suficiente. Fizica nu îşi pune întrebarea de ce un anumit lucru mai curînd decît nimic. Lumea fiind dată şi, în ea, fiind date configuraţii mai mult sau mai puţin bine definite, fizica poate să-şi pună întrebări cu privire la raţiunea de a fi şi la geneza sistemelor fizice oferite de observaţie. Presupunînd că există hidrogen, de ce şi cum se face că există oxigen şi fier? Dacă există atomi, de ce şi cum se face că există stele? Pe o planetă înconjurată de o atmosferă şi primind o anumită cantitate de radiaţie în anumite frecvenţe, de ce şi cum se face că există fiinţe vii?

Dar fiind vorba de Univers, adică de unic, problema existenţei îşi recapătă forma calitativă şi absolută. De aici necesitatea, pentru cosmologul consecvent, sau de a defini pentru Univers condiţii de existenţă şi raţiuni de a fi interioare Universului însuşi (de exemplu omogenitatea permanentă şi principiul de conservare, înţeles în sens ontologic şi absolut şi nu în sensul său fizic obişnuit, definirea unei reguli cantitative pentru stabilirea bilanţului transformărilor localizate), sau de a raporta în bloc existenţa sa la o instanţă oarecare în afara lumii (specificată sau nu), acumulînd într-o anumită stare cosmică iniţială toate condiţiile de existenţă ale tuturor sistemelor fizice. Dar este clar că o astfel de practică iese cu totul din cadrul uzanţelor fizicii pozitive.

Trebuie să recunoaştem că unul dintre meritele cosmologilor din cea de-a doua generaţie, şi în special al lui Milne, este acela că prin îndrăzneala lor, ba chiar prin exagerările lor, au scos clar în evidenţă faptul că orice discurs asupra Cosmosului, chiar cel care se situează cel mai aproape de observaţie, sau în cadrul construcţiilor teoretice cel mai bine verificate, este, în anumite privinţe, filozofic. Toate aserţiunile cu semnificaţie cosmologică, inclusiv refuzul de a vorbi despre Univers, fac parte din această categorie, căci există un punct în care prudenţa ştiinţifică, care cere

limitarea în mod rezonabil a sferei afirmaţiilor bazate pe presupuneri, se transformă în agnosticism, abţinere deliberată, solidară cu o filozofie, indiferent că aceasta semnifică teama de a trece peste un tabu, sau că implică faptul că, în principiu, Universul este considerat ca un obiect incognoscibil şi care transcende raţiunea. Acest punct este atins, spre exemplu, atunci cînd, recunoscînd că sistemul vizibil al galaxiilor prezintă anumite caracteristici de ansamblu bine schiţate de observaţie, se refuză totuşi să se considere aceste caracteristici drept „cosmice” sau se simulează că aici nu se manifestă decît nişte particularităţi locale.

Aceste implicaţii filozofice inevitabile ale cosmologiei fac dificilă definirea statutului ei ştiinţific şi explică neîncrederea cu care sînt privite cercetările sale de către o serie de oameni de ştiinţă. Ele explică de asemenea eforturile pe care le fac cei care o practică pentru a dovedi că ea este pe deplin ştiinţifică, ceea ce îi face să o prezinte fie ca o simplă anexă a teoriei relativităţii, lucru care îi denaturează sensul, fie să ceară pentru ea un loc excepţional, pe care foarte puţini sînt dispuşi să i-l acorde.

În sfîrşit, ceea ce este destul de frapant este faptul că, deşi nimeni nu poate spune exact ce fel de ştiinţă este, nici ce formă va căpăta în viitor, cosmologia există totuşi în fapt şi participă la mişcarea generală a ştiinţei naturii. Aceasta ne face sceptici cu privire la posibilitatea unei epistemologii care ar pretinde să atribuie aprioric o limită domeniului de explorare ştiinţifică, să definească un sistem de norme explicite cărora ar trebui să li se conformeze cu necesitate orice enunţ trecut, prezent sau viitor pentru a apărea ca „ştiinţific”.

Ideea unei interdicţii cu privire la cosmologie apare chiar la sursa raţionalismului modern. Orice gîndire despre Univers ar trebui să fie, după Kant, antinomică printr-o necesitate apriorică, iar Comte voia să-i împiedice pe astronomi să se ocupe cu ceea ce se petrece în Soare; tabu-ul lui Comte pare astăzi derizoriu, dar nici demonstraţia lui Kant nu este mult mai edificatoare. Problema de a şti dacă Universul este sau nu finit în spaţiu nu mai este „dialectică” şi observaţia va hotărî asupra acestui fapt într-un număr mai mic de ani poate decît cel care ne separă de *Critica raţiunii pure*. Problema originii lumii în timp, pe care Kant o asocia analitic de prima, este astăzi cu totul separată şi, deşi rămîne profund dialectică, aceasta nu aduce prea multe dovezi în favoarea coerenţei raţionamentelor dialecticii transcendentale.

Dezbaterea pasionată dintre Milne şi relativiştii „ortodocşi” nu s-a încheiat cu adevărat; totuşi, cosmologia şi-a continuat cariera aventuroasă. În lucrarea de faţă, numele „ortodoxului”

limitarea în mod rezonabil a sferei afirmaţiilor bazate pe presupuneri, se transformă în agnosticism, abţinere deliberată, solidară cu o filozofie, indiferent că aceasta semnifică teama de a trece peste un tabu, sau că implică faptul că, în principiu, Universul este considerat ca un obiect incognoscibil şi care transcende raţiunea. Acest punct este atins, spre exemplu, atunci cînd, recunoscînd că sistemul vizibil al galaxiilor prezintă anumite caracteristici de ansamblu bine schiţate de observaţie, se refuză totuşi să se considere aceste caracteristici drept „cosmice" sau se simulează că aici nu se manifestă decît nişte particularităţi locale.

Aceste implicaţii filozofice inevitabile ale cosmologiei fac dificilă definirea statutului ei ştiinţific şi explică neîncrederea cu care sînt privite cercetările sale de către o serie de oameni de ştiinţă. Ele explică de asemenea eforturile pe care le fac cei care o practică pentru a dovedi că ea este pe deplin ştiinţifică, ceea ce îi face să o prezinte fie ca o simplă anexă a teoriei relativităţii, lucru care îi denaturează sensul, fie să ceară pentru ea un loc excepţional, pe care foarte puţini sînt dispuşi să i-l acorde.

În sfîrşit, ceea ce este destul de frapant este faptul că, deşi nimeni nu poate spune exact ce fel de ştiinţă este, nici ce formă va căpăta în viitor, cosmologia există totuşi în fapt şi participă la mişcarea generală a ştiinţei naturii. Aceasta ne face sceptici cu privire la posibilitatea unei epistemologii care ar pretinde să atribuie aprioric o limită domeniului de explorare ştiinţifică, să definească un sistem de norme explicite cărora ar trebui să li se conformeze cu necesitate orice enunţ trecut, prezent sau viitor pentru a apărea ca „ştiinţific".

Ideea unei interdicţii cu privire la cosmologie apare chiar la sursa raţionalismului modern. Orice gîndire despre Univers ar trebui să fie, după Kant, antinomică printr-o necesitate apriorică, iar Comte voia să-i împiedice pe astronomi să se ocupe cu ceea ce se petrece în Soare; tabu-ul lui Comte pare astăzi derizoriu, dar nici demonstraţia lui Kant nu este mult mai edificatoare. Problema de a şti dacă Universul este sau nu finit în spaţiu nu mai este „dialectică" şi observaţia va hotărî asupra acestui fapt într-un număr mai mic de ani poate decît cel care ne separă de *Critica raţiunii pure*. Problema originii lumii în timp, pe care Kant o asocia analitic de prima, este astăzi cu totul separată şi, deşi rămîne profund dialectică, aceasta nu aduce prea multe dovezi în favoarea coerenţei raţionamentelor dialecticii transcendentale.

Dezbaterea pasionată dintre Milne şi relativiştii „ortodocşi" nu s-a încheiat cu adevărat; totuşi, cosmologia şi-a continuat cariera aventuroasă. În lucrarea de faţă, numele „ortodoxului"

Robertson și cel al „ereticului" Milne, care nu se prea agreau, științific vorbind, sînt strîns legate; nu autorul ci însăși logica gîndirii cosmologice i-a reconciliat. Unul din puținii oameni de știință care s-au interesat în ultimii ani de modelul de univers al relativității cinematice este McVittie, atît de bruscat acum douăzeci de ani de Milne și Walker pentru atașamentul său excesiv față de relativitatea generalizată. Gödel a căutat mai întîi în cosmologie mijlocul de a dovedi că timpul nu este decît o iluzie; lucrările sale sînt citate astăzi cu respect de oameni de știință cum nu se poate mai „rezonabili", care găsesc în modelele în rotație nu mijlocul de a schimba cursul timpului (această „anomalie" este bucuros trecută sub tăcere), ci pe acela de a ocoli dialectica originilor.

Trebuie să constatăm deci — cu satisfacție — că gîndirea cosmologică și-a urmat cursul în ciuda incertitudinilor și echivocurilor care persistă în legătură cu fundamentele, metoda și relațiile sale cu ansamblul fizicii. Știința, ca și Universul, nu se lasă circumscrisă de o frontieră. Oamenii de știință se servesc bucuros de cuvîntul „metafizică" pentru a desemna ceea ce consideră a fi de cealaltă parte. Dar niciodată ei nu au ajuns la un acord nici asupra extensiunii, nici asupra a ceea ce se înțelege prin acest concept. Atomul, galaxiile, inerția energiei, transfinitul au fost un timp „metafizice" și orice încercare de definire a comandamentului *Nec plus ultra!* (pînă aici!) a constat întotdeauna în a face să predomine o anumită filozofie a științei care îi restrînge arbitrar pretențiile și posibilitățile.

Lucrul acesta este probabil adevărat pentru orice știință. Interesul deosebit, din punct de vedere epistemologic, pe care îl prezintă știința Universului, este acela că renașterea sa recentă și strălucitoare a scos în mod deosebit în evidență deschiderea esențială a gîndirii științifice și confuzia creată de îndrăzneala și de permanenta sa capacitate de a pune totul în discuție, confuzie a tuturor celor care vor să o restrîngă pe măsura dogmelor lor, fie ele chiar și dogmele scientismului.

Toate ambiguitățile și incertitudinile cosmologiei se regăsesc atunci cînd este vorba de definirea legăturilor ei cu teoria relativității. Născută din această teorie, în interiorul căreia a produs dealtfel imediat discordie, noua știință a Universului s-a îndepărtat de ea cu mult zgomot; acum tinde să revină, dar această întoarcere nu este un act de supunere și cu greu ar putea fi.

Faptul că această întoarcere are loc se explică desigur fără greutate, mai ales prin consolidarea și progresele teoriei relativi-

tăţii restrînse. Principiile, metodele, teoremele fundamentale ale relativităţii restrînse s-au impus definitiv şi reprezintă de acum înainte o parte integrantă atît a ştiinţei consacrate, cît şi a fizicii actuale. Cît despre relativitatea generalizată, legăturile logice pe care aceasta le are cu teoria restrînsă creează un precedent favorabil şi nu există vreo „obiecţie" temeinică, teoretică sau experimentală. În ultimii ani ea a cunoscut un nou avînt, în acelaşi timp în care se imaginau experienţe noi, încununate de succes deplin, în vederea verificării unora dintre principiile sau consecinţele sale [1]. Ea se pretează mai bine decît orice altă teorie locală la extrapolarea cosmologică şi furnizează cosmologului sprijinul unui sistem conceptual coerent, al unui formalism matematic de care nu se mai poate lipsi şi, mai ales, mijlocul de a specifica, în acord cu experienţa locală, problema interacţiei dintre corpurile cosmice.

În schimb, cosmologia pură are un conţinut autonom bine stabilit şi nu numai „cosmolatrii" spun acest lucru. Acest conţinut este totuşi destul de sărac şi pare destinat să rămînă aşa. Acum aproape treizeci de ani Robertson a arătat cît de excesivă era pretenţia lui Milne de a deduce aprioric din principiile cosmologice o teorie a forţelor fizice. „Principiul cosmologic perfect" şi, într-o măsură mai mică, „principiul fundamental" al lui Dirac şi Jordan permit să se meargă destul de departe în determinarea proprietăţilor structurale ale Universului şi în prezicerea unor efecte observabile în principiu, dacă nu efectiv observate. Dar în absenţa unei teorii fizice, deducţia cosmologică se împotmoleşte brusc; cînd este vorba de a aplica proprietăţile ansamblului cosmic la părţile care îl compun, se face apel la relativitatea generalizată. Aşa se explică încercarea de compromis a lui Hoyle, după cea a lui Jordan.

Trebuie să ţinem totuşi seama că evoluţia şi consolidarea teoriei relativităţii generalizate i-au modificat în acelaşi timp profund caracterul, într-un mod care o face mai puţin interesantă pentru cosmologie. Într-adevăr, cîmpul său de aplicaţie efectivă este considerabil mai îngust decît doriseră şi speraseră Einstein şi elevii lui. În notele sale autobiografice, scrise în 1949, cu ocazia celei de-a şaptezecea aniversări, Einstein explică foarte clar că determinarea legilor cîmpului gravitaţional nu fusese în intenţia

[1] Mai ales experienţele lui Dicke, care au confirmat, cu o precizie de o mie de ori mai bună decît cea a lui Eötvös, identitatea masei grele cu masa inertă, precum şi cele ale lui Pound şi Rebka, care, pornind de la efectul Mössbauer, au demonstrat existenţa încetinirii relativiste a timpului în cîmpul gravitaţional al Pămîntului. În legătură cu experienţele lui Pound şi Rebka, vezi M. A. Tonnelat, *Les récentes expériences sur le décalage vers le rouge en tant que preuves de la relativité générale*, Annales de l'I.H.P., 17, *1*, 1961, p. 59.

sa decît o primă etapă — singura care i s-a părut accesibilă — în cercetarea „legii universale a spaţiului fizic". Această determinare avea avantajul de a-i permite să construiască „un cadru formal preliminar pentru reprezentarea realităţii fizice în întregul ei" [1]. Folosirea cosmologică a unei astfel de teorii destinată universalităţii celei mai complete urma deci de la sine.

Se ştie ce a urmat : apariţia şi succesul teoriilor cuantice, imposibilitatea de a construi, în ciuda unor cercetări îndelungate şi perseverente, o teorie unitară a cîmpului care să aibă o veritabilă semnificaţie fizică, au schimbat pe parcurs scopul şi sensul acestei acţiuni. Teoria relativităţii generalizate este o teorie ireproşabilă şi extraordinar de fină a fenomenelor gravitaţionale, cărora le-a lărgit dealtfel domeniul, dar, pînă în prezent, rămîne atît şi nimic mai mult.

Or, procesele cosmice sînt categoric dominate de gravitaţie. Lucrul acesta pare însă mai puţin exclusiv astăzi decît acum treizeci de ani. În mod sigur, la scara galaxiilor, poate şi la scara intergalactică, au loc fenomene electromagnetice. Structura spiralată a galaxiilor, căreia i s-a căutat mult timp o explicaţie pur gravitaţională, este acum atribuită în mod curent, pe drept sau pe nedrept, unor efecte electromagnetice. Dacă materia este generată continuu sub formă de protoni sau de neutroni, cum susţin Bondi, Gold şi Hoyle, sau dacă Universul a trecut sau trece periodic prin stări de densitate foarte mare, atunci procesele nucleare participă la determinarea structurii şi a istoriei cosmice. Deci cosmologia este silită, şi va fi poate din ce în ce mai mult, să ia în consideraţie fenomene fizice ale căror legi nu rezultă din ecuaţiile lui Einstein.

Invers, dacă ne limităm la fenomenele gravitaţionale, relativitatea generalizată nu este strict indispensabilă. Cosmologia se poate servi de teoria newtoniană care, chiar dacă nu dă o explicaţie satisfăcătoare deplasării spre roşu, furnizează desigur o excelentă aproximaţie, ale cărei formule sînt mai uşor de manevrat şi care permite ca lumea să se rotească, chiar dacă este infinită, cu viteza cu care dorim, fără a ne afla în situaţia ca pe anumite linii de univers să se inverseze sensul timpului...

Adăugăm că nici unul din motivele care ar fi putut exista prin 1930 de a căuta pentru cosmologie alte baze decît teoria relativităţii generalizate nu a dispărut cu adevărat. Problema constantei cosmologice nu a fost încă rezolvată. Chiar dacă se ia $\Lambda = 0$, aşa cum a făcut Einstein, în mod arbitrar, cele două nedeterminări ale cosmologiei robertsoniene persistă. În plus, rămîne şi opoziţia

---

[1] *Autobiographisches*, în *E.P.S.*, *op. cit.*, pp. 70—72.

foarte profundă, ale cărei efecte am avut deseori ocazia să le constatăm, între supleţea relativităţii generalizate, toleranţa sa în privinţa deformării metrice a spaţiu-timp-ului şi rigiditatea formală a unei teorii cosmologice care, pentru a defini o formă metrică unică şi universală, este obligată să impună limite foarte stricte modelării spaţiu-timp-ului. Idealul cosmologic cu adevărat relativist este cel al unei alcătuiri a Universului bucată cu bucată, dar pentru ca acesta să fie realizat ar fi nevoie de o matematică supraumană. Nimeni nu poate spune ce lume bizară ar putea să rezulte din aceasta şi, aşteptînd ca programul să poată fi realizat cel puţin parţial, cosmologia relativistă este obligată să pună în practică aceleaşi ipoteze apriorice de care se serveşte cosmologia pură, ipoteze care sînt străine, dacă nu chiar contrare, însuşi spiritului teoriei relativităţii.

Reîntoarcerea cosmologiei la sînul matern relativist nu ar putea deci să se facă în entuziasmul jurămintelor eterne de reunire indestructibilă şi, în starea actuală a lucrurilor, este tot atît de imposibil pînă la urmă să se tragă o concluzie definită cu privire la situaţia epistemologică şi metodologică a cosmologiei, ca şi asupra structurii spaţiu-timp-ului cosmic.

II

Ideile de „spaţiu", „spaţiu-timp", „timp" sau „materie-energie" formează osatura conceptuală a gîndirii fizice. Ştiinţa se străduieşte să le priveze de orice semnificaţie ontologică, să nu le lase decît un conţinut experimental sau „fenomenologic", într-o formă matematică. A le lua deci ca obiect al unui discurs care nu se supune riguros regulilor de sintaxă şi semantică, care pretinde să se refere la fiinţe sau la fiinţă fără a specifica în ce tip de experienţe sînt presupuse a apărea, ce fel de relaţii trebuie să aibă între ele, pe scurt al unui discurs filozofic, înseamnă evident a-ţi asuma un risc. Trebuie totuşi să remarcăm că filozoful nu este singurul care şi-l asumă. Se întîmplă deseori ca omul de ştiinţă să se elibereze într-un astfel de context de o disciplină care îi pare excesiv de limitativă, ca el să vorbească de „spaţiu", fără a specifica dacă este vorba de o varietate riemaniană V_3, de „materie", fără a preciza dacă vorbeşte de o densitate de sarcină sau de o masă inerţială. Fără îndoială, se întîmplă mult mai curent ca aceste idei să intervină sub formă brută şi implicită în cercetarea sa, în alegerea unei metode, în preferinţa acordată unei anumite intuiţii, în sentimentul imediat că o cale este promiţătoare şi că alta nu este. Cu

alte cuvinte, aceste categorii ale gîndirii fizice țin de o filozofie naturală precedînd, împlinind și învăluind din toate părțile discursul care se vrea sau se crede strict „științific" — dar aparținînd în același timp științei în sensul său strict, de cunoaștere explicită, verificată sau verificabilă, comunicată sau comunicabilă, după regulile general admise.

Or, nu există nici o îndoială că cosmologia modernă a contribuit într-o anumită măsură la transformarea și îmbogățirea sensului acestor categorii și poate că nu s-a acordat suficientă atenție la ceea ce aduc nou în această privință rezultatele și intervențiile ei. Sub această formă am dori acum, după ce am încercat să tragem concluzia epistemologică a investigației noastre, să desprindem învățămintele pe planul ontologiei naturale.

Mai întîi, în ceea ce privește *spațiul*, vedem cum în interiorul cosmologiei secolului al XX-lea se schițează sau ia naștere din nou opoziția între două filozofii, fiecare cu elementele sale tradiționale și cu aspectele sale originale. În cosmologia einsteiniană din 1917 — mai net decît în principiile teoriei relativității generalizate — renaște realismul cartezian sau spinozist al lui *res extensa* (substanță extinsă), cu ideea preconcepută de a șterge orice diferență esențială dintre spațiu și conținutul său. În această cosmologie, omogenitatea postulată la scara Universului restabilea regularitatea și uniformitatea proprietăților metrice ale spațiului, pe care filozofii clasici voiau să le vadă bazate pe o intuiție rațională. Pe de altă parte, ipoteza unui repaus mediu al materiei, echivalentă cu cea a unui timp cosmic, introducea separarea spațiului și a timpului. Postulatul determinării complete a metricii de către materie, principiul că inerția este o proprietate inseparabilă a maselor și a spațiului, care au reprezentat ideile directoare ale cosmologiei relativiste la începuturile ei, definesc forma modernă a realismului spațiului. Dimpotrivă, la Milne idealitatea spațiului se afirmă cu vigoare și contrastează atît de puternic cu realitatea pe care o atribuie el trecerii timpului, încît aceasta îl conduce la a refuza comoditățile matematice ale spațiu-timp-ului.

Or, pe de o parte, Einstein a eșuat în această privință pentru că nu a reușit să-și modifice ecuațiile într-un mod care să interzică, așa cum voia el, existența unei lumi vide. Pe de altă parte, adevărata originalitate a lui Milne constă în a fi dat asupra idealității spațiului o concepție nouă, cu totul diferită de cea care rezulta la Kant din reducerea transcendentală a spațiului euclidian și a timpului galileian. Milne revine într-adevăr la o metafizică a relației spațiale pe care nimeni de la Leibniz încoace nu o folosise cu adevărat pentru interpretarea spațiului fizic: spațiul este

modul de coexistenţă al monadelor gînditoare şi trebuie să fie considerat astfel chiar de ştiinţa naturii, înainte de a fi considerat ca atributul cel mai imediat evident al fiinţelor materiale; este tocmai ceea ce numim, din comoditate, „principiul monadologic". Am dezvoltat mult prea pe larg acest aspect al relativităţii cinematice pentru a mai reveni asupra lui [1].

În contextul actual, problema care se pune în legătură cu principiul monadologic al lui Milne este următoarea: de ce o idee atît de nouă, atît de atrăgătoare din punctul de vedere al filozofiei naturale nu a avut în final decît consecinţe limitate, nu numai asupra dezvoltării fizicii teoretice, dar şi asupra celei a cosmologiei? Aceste consecinţe nu sînt desigur neglijabile, pentru că principiul monadologic stă la baza deducerii aprioríce a expresiei elementului clasic ds^2 al spaţiu-timp-ului cosmologic, de către Robertson ca şi de Walker, şi, de asemenea, pentru că aceşti autori au pus în evidenţă pe parcurs o afinitate între acest principiu şi formalismul teoriei grupurilor, de care Milne, în mod paradoxal, nu se servise decît în problema observatorilor coliniari. Realismul, ba chiar materialismul autorilor teoriei stării staţionare nu îi împiedică totuşi pe aceştia să enunţe principiul lor cosmologic perfect în aceiaşi termeni de care se servea Milne pentru a enunţa principiul cosmologic: concordanţa aparenţelor pentru diverşi observatori situaţi diferit în spaţiu şi timp. Dar trecerea deductivă de la monadologia matematică la Universul fizic nu pare a fi viabilă.

La întrebarea noastră referitoare la relativa sterilitate a principiului monadologic, din punctul de vedere al ştiinţei, apar de la sine cîteva elemente de răspuns. Mai întîi, printr-un fel de paradox nu lipsit de sens, acest principiu se dovedeşte util mai ales în definirea relaţiilor dintre spaţiu şi timp. Apoi, ceea ce-i lipseşte acestui principiu pentru a se impune ştiinţei este imposibilitatea vreunei folosiri experimentale directe. Practic, toţi oamenii sînt situaţi în acelaşi punct al spaţiului şi nu obţin decît o observare instantanee a Universului. Este suficient să imaginăm schema unei „experienţe închipuite", pentru a înţelege ce sens diferit ar căpăta principiul monadologic dacă s-ar putea stabili comunicaţii efective la distanţe foarte mari. De exemplu, pentru a clarifica lucrurile, putem imagina trei observatori înzestraţi cu instrumente identice, putînd comunica prin semnale şi, în timpul întregii perioade necesare comunicării observaţiilor, fiind situaţi astfel: A, pe Pămînt; B, ocupînd o poziţie echivalentă într-o galaxie suficient de îndepărtată; C, călătorind în spaţiul intergalactic cu o viteză con-

[1] Vezi mai sus, p. 178.

stanță egală cu $c/2$, de exemplu, în raport cu centrul galaxiei celei mai apropiate. Postulatele cosmologiei structurale ar căpăta atunci sensul unor enunțuri intersubiective verificabile experimental. Compararea aspectului global al Universului, văzut respectiv de A, B, C, ar permite o verificare directă a ipotezelor robertsoniene. De exemplu, dacă Universul este izotrop pentru A, postulatul lui Weyl implică faptul că el este izotrop și pentru B, dar nu pentru C, care nu ar putea observa aceeași relație viteză-distanță pentru decalajele spectrale în cele două emisfere pe care le-ar schița pe „sfera cerească'' direcția mișcării sale în raport cu galaxia de referință.

S-ar putea stabili un raport direct între observație și cosmologia structurală, care ar face-o pe aceasta din urmă independentă de cunoașterea forțelor fizice. Definirea obiectivă a formei Universului ar fi obținută numai prin racordarea aparențelor, iar cosmologia ar putea pretinde o poziție excepțională. Ea s-ar constitui prin confruntarea dintre principiul monadologic și observație, prealabil oricărui postulat realist asupra raportului dintre spațiu și ființele fizice. Dar tocmai acest lucru este imposibil, iar ideea monadologică de spațiu, oricît de mare ar fi atracția sa filozofică, este destinată să rămînă fără o veritabilă aplicație concretă la cunoașterea Universului.

Ceea ce este destul de singular este că ideea monadologică a *perspectivei*, pe care Leibniz a folosit-o în texte binecunoscute, a devenit banală pretutindeni (pentru pictor sau cineast, pentru istoric sau moralist ; unii caută să afirme absolutul fiecărei perspective, alții vor, în tradiția leibniziană, să depășească multiplicitatea punctelor de vedere și să definească condițiile unui acord prin această depășire). Dar știința fizică a postulat întotdeauna pînă acum că structura metrică a spațiului transcende de fapt, fără participarea necesară a monadelor, multiplicitatea punctelor lor de vedere. Lecția care rezultă din relativitatea cinematică și din situația sa aberantă în raport cu fizica este deci că realismul spațiului se impune — pînă la un anumit punct — fizicianului, pentru că lumina merge prea repede, după cum i se impunea în mod absolut lui Descartes, pentru că pentru el lumina mergea infinit de repede.

În lipsa posibilității, chiar îndepărtate, a unui control experimental direct, idealismul monadologic al lui Milne nu a putut să se afirme decît ca o schemă abstractă, cu o semnificație limitată pentru edificarea și dezvoltarea științei Universului. Trebuie deci să constatăm că cosmologia secolului al XX-lea lasă deschisă o veche dezbatere ale cărei date s-au reînnoit totuși, între un realism care tinde să identifice forma și conținutul spațiului și un nou idea-

lism, eliberat, prin principiul monadologic, de tradiţionalul solipsism epistemologic, care nu lasă subiectului cunoaşterii altă posibilitate decît de a se sustrage lumii printr-o magie incomprehensibilă, pentru a o contempla de pretutindeni şi de nicăieri, sau de a o absorbi în întregime în neantul reprezentărilor sale.

Problemele spaţiului au dealtfel pentru filozofia contemporană a naturii mai puţină acuitate decît cele ale spaţiu-timp-ului şi ale timpului (de care dealtfel nu pot fi separate decît printr-un artificiu). Ne putem convinge mai bine de acest lucru constatînd degenerarea antinomiei dintre finitism şi infinitism, reînsufleţită la începutul cosmologiei moderne, dar care tinde să se golească de orice conţinut filozofic.

Pentru Einstein, în 1917, închiderea topologică a spaţiului era inseparabilă de închiderea logică şi epistemologică a Universului, obţinută, sau cel puţin căutată, printr-o expresie geometrică riguroasă a principiului determinării complete a metricii de către materie.

Acest din urmă principiu neputînd fi satisfăcut în cadrul relativităţii generalizate, închiderea topologică a spaţiului pierdea mult din interes, fiind astfel lipsită de o justificare solidă. Totuşi, printr-un fel de necesitate naturală, finitismul a părut mult timp asociat cosmologiei relativiste. Primul memoriu al lui Friedman nu se referea decît la modele finite, dar acesta a fost puţin citit. Cel de-al doilea, care generalizează rezultatele primului la cazul hiperbolic, pare să fi trecut şi el complet neobservat, chiar şi de Einstein [1]. Prima cosmologie „deschisă" care a cunoscut o oarecare notorietate a fost cea a lui Einstein-de Sitter. Dar Eddington şi Lemaître, angajaţi, fără posibilitate de întoarcere, în finitism, îl popularizaseră şi dăduseră revenirii la această ipoteză abandonată de la Renaştere rezonanţele filozofice cunoscute.

Prima contraofensivă motivată a infinitismului fu dată de Milne, adică de un autor care avea toate motivele, din punct de vedere filozofic, să se asocieze celorlalţi doi. În timp ce modelul Lemaître-Eddington, finit în spaţiu, se întindea la infinit în cele două sensuri ale timpului, Universul lui Milne, infinit în spaţiu, provenea dintr-o origine singulară situată la distanţă finită în trecut. Prima antinomie cosmologică a lui Kant era astfel complet dislocată şi, în plus, lipsită de semnificaţia sa metafizică, pentru că dezbaterea cu privire la finit şi infinit punea faţă în faţă apără-

[1] În articolul comun al lui Einstein şi al lui de Sitter din 1932 se face aluzie, în legătură cu soluţiile cosmologice spaţial deschise, nu la cel de-al doilea memoriu al lui Friedman, ci la lucrările mult mai tîrzii ale lui Heckmann.

tori ai aceleaşi credinţe, adversari ai aceluiaşi materialism. Argumentului lui Lemaître că finitudinea Universului semnifică faptul că omul nu trebuie să capituleze în faţa lumii îi răspundea cel al lui Milne că o natură finită nu ar fi demnă de măreţia creatorului ei.

Lemaître şi mai ales Eddington de partea finitismului, Milne de partea infinitismului, aduc desigur şi argumente mai puţin arhaice şi mai subtile, însă nici un motiv aprioric nu pare să poată fi invocat pînă la urmă în favoarea uneia sau alteia dintre poziţii şi, în deducerea robertsoniană, indicele curburii spaţiale este lăsat în mod rezonabil nedeterminat. În cosmologia staţionară (ca dealtfel şi în cea a lui Dirac) deschiderea spaţiului este postulată nu datorită calităţilor sale proprii, ci datorită faptului că structura euclidiană este asociată în mod necesar cu întreg ansamblul axiomelor. Şi în cosmologia relativistă, aşa cum am văzut, proprietăţile topologice globale ale spaţiului pot fi determinate, în anumite condiţii, pornind de la observaţie. Dacă, deci, cosmologia modernă nu decide dacă spaţiul este finit sau infinit, aceasta nu se întîmplă pentru că problema aceasta este „dialectică'', ci pentru că, din punct de vedere teoretic, ea este indiferentă şi pentru că observaţia, care ar putea în principiu să o lămurească, nu poate, sau nu o poate face încă.

În general, pare că s-a produs o lentă şi insesizabilă reîntoarcere la infinitism. Se revine însă astfel mai curînd la o veche obişnuinţă de gîndire decît la o metafizică, iar opoziţia dintre finit şi infinit s-a devalorizat din punct de vedere filozofic.

În ciuda unei încercări stîngace şi fără viitor, distincţia familiară în prezent matematicienilor dintre mulţimile infinite de diferite ordine nu a fost folosită pînă acum în cosmologie, cu toate că diferenţa dintre geodezicele lui Weyl, care formează o mulţime continuă, şi galaxiile — sau atomii — a căror mulţime trebuie considerată în mod plauzibil ca numărabilă dacă Universul este infinit, invită de la sine la reflecţii în această privinţă. S-a încercat să se demonstreze că în teoria stării staţionare, datorită formei exponenţiale a metricii şi generării continue, mulţimea atomilor ar trebui să aibă o putere superioară celei a numărabilului, dar demonstraţia a fost serios combătută.

Problemele legate de ideile de spaţiu-timp şi de timp nu şi-au pierdut în schimb nimic din acuitatea lor filozofică. Dacă persistenţa unei controverse este semn că o idee continuă să fie vie din punct de vedere filozofic, pentru a fi siguri de vivacitatea filozofică a ideii de spaţiu-timp este suficient să comparăm două lucrări recente, publicate la interval de doi ani. În *Filozofia naturală a*

timpului[1], G. J. Whitrow, credincios uneia din ideile conducătoare a lui Milne, de a cărui operă cosmologică a fost strîns legat, aşa cum am mai spus, dezvoltă şi apără în diferite moduri ideea că temporalitatea este o proprietate primordială a lucrurilor şi arată că există o întreagă problematică a timpului natural (mai ales problema fundamentală a mulţimii matematice de referinţă pentru părţile timpului), care este independentă şi prealabilă construirii unui spaţiu-timp. Dimpotrivă, Costa de Beauregard pare atît de convins de realitatea spaţiu-timp-ului încît îşi pune problema de a şti de ce fiinţele vii şi gînditoare sînt destinate să parcurgă întotdeauna în acelaşi sens liniile lor de univers — ca şi cum ar exista efectiv linii de gen temporal deja trasate şi orientabile înaintea oricărei parcurgeri[2].

Problema în legătură cu care aceşti autori prezintă vederi atît de evident opuse este deci următoarea : acestui spaţiu-timp, de care se servesc în mod curent fizicienii pentru a reprezenta geometric fenomenele fizice, trebuie oare să i se dea sensul unui artificiu matematic care asociază — pentru motive de comoditate care rămîn să fie explicate — două aspecte esenţial diferite ale realităţii fizice, sau există un spaţiu-timp care reprezintă, în bloc, realitatea fizică, distingerea dimensiunii temporale depinzînd numai de modul de percepere al gînditorului uman, antrenat în jocul interacţiilor sale cu lumea ?

Autorul se raliază categoric primului termen al alternativei, pentru că studiul cosmologiei moderne l-a convins că concepţia „Universului-bloc" se poate susţine numai cu mare dificultate din punct de vedere cosmologic. Aşa cum cititorii acestei lucrări s-au putut convinge, acest studiu arată, într-adevăr, că 1. ipoteza timpului cosmic se impune aproape cu stringenţă cosmologiei şi că 2. cercetarea cosmologică a adus indicii foarte serioase că ireversibilitatea fizică are o origine şi o semnificaţie cosmologică. Sau, cu alte cuvinte, că libertatea în alegerea *timpului-dimensiune* este limitată într-un mod mult mai strict la scara cosmică decît în fizica locală şi că orientarea sa nu poate fi arbitrară, nici relativă numai la poziţia subiectului care acţionează şi gîndeşte, la direcţia gîndirii şi acţiunii sale, aşa cum este întotdeauna o *dimensiune* în sensul spaţial al cuvîntului.

Trebuie să convenim, desigur, că problema este prea complicată pentru a putea fi siguri că poate fi rezolvată examinînd-o dintr-un singur punct de vedere, fie el al Universului. Dar, din aceleaşi

---

[1] G. J. WHITROW, *The Natural Philosophy of Time*, London, Nelson, 1961.
[2] *Le Second Principe de la science du temps*, Paris, Seuil, 1963.

motive care au limitat extinderea analizei noastre cu privire la ireversibilitatea fizică, ne vom limita să luăm în considerație numai acele aspecte ale ontologiei spațiu-timp-ului, care sînt cel mai direct legate de folosirea sa cosmologică.

Din momentul în care a dat transformării Lorentz și axiomelor relativității restrînse interpretarea geometrică care i-a imortalizat numele, Hermann Minkowski s-a decis cu îndrăzneală să atribuie spațiu-timp-ului „său" o semnificație în întregime realistă [1]. Acest *realism* al spațiu-timp-ului, care prelungește și în același timp contrazice realismul spațiului și al cărui *absolutism* a fost deseori subliniat în contrast cu însuși cuvîntul de relativitate, s-a impus ca un fel de evidență în spiritul relativiștilor din prima generație (dacă nu și în cel al lui Einstein, întotdeauna rezervat în această privință și a cărui primă cosmologie era destul de îndepărtată de ontologia spațio-temporală). Se întîlnesc în acest sens exprimări foarte nete la Hermann Weyl și, fapt mai demn de notat, la Eddington, a cărui gîndire filozofică avea să ia după aceea un drum cu totul diferit.

Aceasta ne permite mai întîi să datăm ontologia spațiu-timp-ului, să o situăm în epoca relativității militante, atunci cînd pionierii fizicii teoretice descopereau cu entuziasm puterea axiomelor einsteiniene, eficacitatea formalismului spațio-temporal. Nu este de mirare că ei au fost victimele aceleiași iluzii care i-a dus pe pitagoreici la a situa numerele la baza lumii, pe Descartes și Spinoza la a identifica substratul ontologic al naturii cu esențele geometrice, iluzie care „reifică" entități matematice care reprezintă în mod eficient fenomene naturale.

Totuși, simpla examinare a formei minkowskiene este suficientă pentru a face suspectă interpretarea realistă a spațiu-timp-ului. În mod evident, această formă este un compromis făcut pentru a asocia într-o aceeași descriere matematică aspecte ale lumii fizice care nu sînt echivalente și care, sub veșmîntul matematic comun care le este impus, lasă să se vadă totuși deosebirile dintre ele. Schimbarea semnului atunci cînd se trece de la variabilele spațiale la variabila temporală, sau inversarea inegalității triunghiulare atunci cînd se adună geometric vectori de gen temporal și vectori de gen spațial și cînd se urmărește normarea sumei, toate acestea indică clar o geometrie ajustată. Omogenitatea perfectă poate fi obținută, dar trebuie introdusă o variabilă complexă, căreia, în

---

[1] „De acum înainte, spațiul singur și timpul singur vor dispărea ca niște umbre și numai un fel de uniune între cele două își va păstra o realitate independentă", scria Minkowski. Citat de Whitrow, *op. cit.*, p. 227.

acest caz, i se potriveşte destul de bine vechea denumire de „imaginară". Nu există o transformare liniară „reală" prin care o linie de gen temporal să se transforme într-o linie de gen spaţial[1]. Conul luminos separă direcţiile spaţiu-timp-ului în două mulţimi, dintre care numai una conţine direcţiile traiectoriilor „reale" ale obiectelor fizice. Altfel spus, dacă, după ontologia spaţiu-timp-ului, orice obiect fizic este identificabil cu o curbă sau cu un „tub" în spaţiu-timp, lumea fizică nu se proiectează decît pe o parte a varietăţii lui Minkowski. Dar acesta este un „realism" destul de straniu. Ceea ce este real este ansamblul geometric, dar în interiorul acestui ansamblu trebuie introdusă o graniţă între real şi ireal...

Adăugăm că dacă ne situăm în cadrul relativităţii generalizate, soluţiile ecuaţiilor lui Einstein sînt locale şi comportă în general singularităţi, cum este cazul celebrei soluţii statice a lui Schwarzschild, iar racordarea ordonată a unor soluţii locale nu este o problemă a cărei rezolvare ar fi dinainte garantată. Aceasta riscă să dea spaţiu-timp-ului „real" o fizionomie destul de... singulară. Geometria presupusă a se identifica cu realitatea nu este totuşi definită decît fragmentar. Soarele poartă cu el în Univers un tub de spaţiu-timp în interiorul căruia geometria nu pătrunde. Mii de miliarde de stele încrucişînd în toate direcţiile tuburile lor singulare, ce zăpăceală pentru *Kosmotheoros*-ul care contemplă Universul cvadridimensional!

Pe scurt, dacă dorim să facem din spaţiu-timp altceva decît o structură matematică care este adecvată, în anumite condiţii foarte strict definite, descrierii anumitor sisteme fizice, considerate în acelaşi timp în forma şi în evoluţia lor, ne expunem riscului de a cădea într-un pluralism incoerent!

Spaţiu-timp-ul cosmologic este din principiu considerat ca lipsit de singularităţi locale. Dar, pe de altă parte, cosmologia invocă motive proprii pentru a considera cu rezerve realismul spaţiu-timp-ului. Nu avem decît să le recapitulăm:

1. Ipoteza timpului cosmic, ca şi ansamblul ipotezelor robertsoniene, este în mod rezonabil confirmată de izotropia observată la scară foarte mare în distribuţia galaxiilor, în repartiţia sferică a decalajelor spectrale. Practic, toate încercările de rezolvare teoretică a problemei structurii s-au bazat pe ea. Strălucita excepţie a lui Gödel confirmă regula: aşa cum dorise, primul său Univers era paradoxal. El a arătat după aceea că paradoxul poate fi evitat

---

[1] Vezi diagrama lui Minkowski, Anexa, fig. I. Probabil nu întîmplător transformarea $x^4 = ict$, care dă formalismului o formă perfect euclidiană, nu este utilizată în cosmologie decît foarte rar, în timp ce în microfizică este folosită mult mai curent.

pentru o clasă restrînsă de modele (spațial finite, în rotație lentă). În aceste modele nu există timp cosmic în sens tare, timp cosmic *metric*, după însăși expresia lui Gödel. Eliminarea paradoxului liniilor închise de gen temporal este totuși echivalentă cu o ipoteză restrictivă asupra spațiu-timp-ului, pentru că un același parametru numeric poate întotdeauna să fie astfel ales încît relația de ordine dintre diferitele sale valori să fie congruentă orientării tuturor liniilor de gen temporal. Cît despre modelul în rotație al lui Heckmann, acesta este newtonian, ceea ce ocolește dificultatea timpului cosmic.

În situația actuală, o cosmologie fără timp cosmic ar fi deci în același timp contrară datelor de observație și obligată să se ferească cu foarte multă grijă de paradox. Este deci permis să se dea o semnificație ontologică constatării lui Hoyle că, de fapt, toate teoriile macroscopice introduc o direcție privilegiată a timpului. Dacă aceasta poate sau nu să fie în acord cu principiul general de covarianță care stă la baza teoriei relativității, aceasta este desigur o problemă delicată, care are atît aspecte matematice, cît și filozofice. Gravitatea problemei pare cu siguranță mai mică în cazul în care noțiunii de timp ca dimensiune a unei varietăți cvadridimensionale nu i se atașează o valoare ontologică, pe care nu o merită.

2. Există indicii foarte puternice că ireversibilitatea fizică observată este manifestarea locală a unui fenomen cosmic, că procesele parțiale se integrează în mod coerent într-o devenire totală, sau, altfel spus, că timpul parametru este o variabilă orientată fizic în mod univoc și universal. Desigur, raportul dintre aspectele locale și aspectele cosmice ale ireversibilității nu este încă prea clar, ca și legătura dintre această orientare fundamentală a timpului ca parametru și necesitatea geometrică de a distinge în spațiu-timp o anumită direcție temporală privilegiată. Numai teoria stării staționare dă acestei legături sensul unei proprietăți structurale a Universului, asociind generarea continuă timpului cosmic geometric, pe de o parte, și evoluției termodinamice a Universului, pe de alta.

Chiar dacă se respinge această teorie, presupunerea unei orientări fizice fundamentale a variabilei timp fixează o limită foarte netă și foarte vizibilă pentru identificarea timpului cu o entitate geometrică, pentru că există un contrast de neșters între orientarea ireversibilă și reversibilitatea esențială, caracteristică tuturor relațiilor spațiale. Avem aici confirmată prin amplificare o evidență cotidiană. Din faptul că bunul simț s-a înșelat de atîtea ori atît de rău nu rezultă că nu ar avea niciodată dreptate.

În sfîrșit, în ce măsură se poate oare opune „bunul simț" realității unei lumi cvadridimensionale în care ar exista linii închise de gen temporal? Toată lumea, începînd cu Gödel însuși [1], pare a fi de acord în a recunoaște că reîntoarcerea în trecut, a cărei posibilitate geometrică decurge din existența acestor linii, implică o absurditate. Dar pentru Gödel această absurditate nu este o obiecție decisivă împotriva identificării Universului real cu un astfel de model, pentru că această călătorie ar fi *de fapt* impracticabilă și, din punct de vedere fizic (avînd în vedere energiile și vitezele pe care le-ar implica) ar fi de neconceput ca un obiect să poată fi forțat să parcurgă alte traiectorii spațio-temporale decît liniile deschise de gen temporal. (Acesta este și punctul de vedere adoptat de Einstein în răspunsul său către Gödel, atunci cînd remarcă că sensul timpului nu poate fi definit fizic decît printr-o acțiune cauzală care cere o anumită apropiere.) Altfel spus, chiar dacă structura gödeliană ar fi adecvată Universului real, paradoxul ar fi evitat în măsura în care liniile închise de gen temporal nu ar avea decît o existență geometrică și nu una fizică. Dar cum ar putea evita paradoxul un *realism* al spațiu-timp-ului, adică o filozofie pentru care entitățile geometrice cvadridimensionale *sînt* entități fizice? Și în virtutea cărui criteriu ar putea un astfel de realism să excludă ca Universul cvadridimensional să aibă tocmai structura pe care i-o conferă soluția gödeliană a ecuațiilor lui Einstein?

Se poate spune că dacă spațiu-timp-ul nu este real, nu se înțelege de ce este el o reprezentare matematică utilă. Discuția lui Robertson, pentru a nu o cita pe cea a lui Milne, a cărui ostilitate față de relativitatea generalizată putea să-i falsifice judecata, oferă un răspuns în această privință. Ea scoate în evidență faptul că intervalul spațio-temporal elementar ds^2 trebuie să fie considerat înainte de toate ca expresie formală a unei condiții de coerență și de comunicabilitate pentru operațiunile de reperare a unui eveniment punctual și instantaneu, situat la distanță față de un observator oarecare. Or această condiție se impune prin ea însăși din momentul în care se renunță la postulatul cartezian al propagării instantanee a luminii. Spațiu-timp-ul este un aranjament destinat să facă sistemul măsurătorilor independent de distanțe în timp și spațiu, fiind de la sine înțeles că informațiile despre o

---

[1] „Aceasta ar permite cuiva, de exemplu, scrie Gödel, să se reîntoarcă în trecut aproape de locurile unde ar fi trăit. Acolo ar întîlni o persoană care ar fi el însuși într-o anumită perioadă anterioară a propriei sale vieți și ar putea să o determine să facă ceva care ar ști din memoria lui că nu i s-a întîmplat". *A Remark About...*, *mem. cit.*, în *E.P.S.*, p. 561.

regiune din spaţiu au nevoie de un anumit timp pentru a ajunge la altă regiune. Dealtfel, proprietăţile unui dispozitiv de măsură nu reprezintă o simplă copie a obiectului de măsurat.

Deoarece filozofia spaţiului oscilează între realismul întinderii materiale şi idealismul monadologic, iar ontologia spaţiu-timp-ului este limitată de imposibilitatea de a geometriza timpul fără rezerve sau reticenţe, timpul fizic apare ca reprezentarea raţională a atributului cel mai esenţial al existenţei fizice şi, fără îndoială, al existenţei pur şi simplu. Prin meditaţia asupra cosmologiei moderne, filozoful ar fi deci condus spre o ontologie a devenirii, mai exact a *trecerii*. Elementele cele mai pure pot fi probabil găsite la Whitehead, în ideea *trecerii naturii* ca mod originar de existenţă, prealabil oricărei *bifurcări* între fiinţa aşa cum este şi fiinţa aşa cum este gîndită.

Aportul cosmologiei la conceptul de materie-energie a fost mult mai mic decît cel al microfizicii şi trebuie înţeles în perspectiva devenirii. Într-adevăr, evidenţa mobilităţii universale este aceea care a condus în cele din urmă la ipoteza generării continue. Fie că o acceptăm fie că nu, simpla existenţă a unei teorii coerente despre Univers, bazată pe ea, arată cît de departe este în prezent ştiinţa fizică de substanţialismul masei inerte, care i-a servit atît de des de filozofie pînă la sfîrşitul secolului al XIX-lea. Dealtfel, limitele unei viziuni nemateriale a Universului au fost clar indicate chiar de către Milne, care a împins desigur mai departe decît oricine, în era ştiinţei pozitive, încercarea de a clădi o fizică idealistă. În sistemul său, prăpastia dintre cinematică şi dinamică nu este depăşită decît cu ajutorul unor ipoteze pe care cu greu am putea, ca şi Robertson, să nu le considerăm arbitrare.

Dar materia, existentul brut care rezistă şi interzice să se identifice, oricum ai încerca-o, un *ego* şi o *particulă*, nu mai are consistenţa şi greutatea bolovanului, pe care, după o anecdotă povestită de Eddington, un interlocutor al lui Berkeley îl lovea cu furie pentru a-l combate pe subtilul episcop. Ea se numeşte energie, radiaţie, foton, neutrino, cîmp, dar şi masă. Ce a devenit funcţia pe care i-o atribuia Kant, de a fi substratul subiacent oricăror transformări vizibile? Toate atributele sale de permanenţă tind să se disloce sau să se şteargă. Îi rămîne fuga, dispersarea, uneori chiar condensarea, dar numai abandonînd întotdeauna cîte ceva dispersării universale; îi rămîne poate, de asemenea, atributul de a se naşte, dar nu şi acela de a dăinui.

Interpretarea neortodoxă — unii ar spune aberantă — a principiului conservării de către Bondi, Hoyle sau Jordan, care îl consideră compatibil cu creaţia *ex nihilo*, are cel puţin consecinţa

de a produce o *demistificare* salutară a acestui principiu. Adversari de neîmpăcat în materie de filozofia naturii sînt în mod tacit de acord în a vedea în principiile de conservare din fizică expresia unui adevăr metafizic. Materialismul ateu proclamă eternitatea materiei; postulînd posibilitatea creaţiei s-ar plasa natura, şi prin ea omul, sub dependenţa supranaturalului. Invers, cosmoteologia creştină tinde să caute în metafizica conservării fizice garanţia că lumea nu se poate elibera de Dumnezeu, că nu poate să se reînnoiască sau să se recreeze ea însăşi fără acesta — o garanţie împotriva panteismului, care a fost deseori considerat de două mii de ani încoace ca cea mai de neiertat dintre impietăţi. În ceea ce priveşte alocuţiunea *Ex nihilo nihil fit* (din nimic-nimic), teologia inversată şi teologia directă tind să fie de acord în fond, deşi pentru raţiuni contrare. Dar este evident că nu pe acest teren şi nu în acest mod pot să cadă de acord spiritele libere cu privire la valabilitatea acestei venerabile axiome, care în contextul ştiinţei moderne trebuie să fie precizată considerabil pentru a putea fi pusă la încercare prin analiză teoretică sau prin verificare experimentală.

III

Dacă nu este cu necesitate „imens" în sensul etimologic al cuvîntului — pentru că, dacă este finit, poate fi măsurat — Universul este totuşi imens prin aceea că mărimea sa în spaţiu nu are o măsură la scară umană. Există o oarecare naivitate în a celebra virtuţile eliberatoare ale cuceririlor „spaţiale" ale tehnicii contemporane şi multă grandilocvenţă în a numi „cosmice" aparate de fabricaţie umană care gravitează în jurul Pămîntului sau în sistemul solar. „A merge pe Lună" nu mai este un vis absurd, dar rămîne o acţiune delicată, ale cărei dimensiuni s-au restrîns pe măsură ce Universul vizibil s-a extins. Galaxia nu este decît un punct în Univers şi sistemul solar nu este decît un punct în Galaxie. Dar a părăsi sistemul solar şi a ne apropia de stelele din vecinătatea noastră — dintre care cea mai apropiată este la o distanţă de peste două sute de mii de ori mai mare decît distanţa care ne separă de Soare — este categoric un proiect supraomenesc. Ar trebui ca „navele cosmice" să poată fi accelerate pînă la viteze care să nu mai fie neglijabile în raport cu viteza luminii. La treizeci de mii de kilometri pe secundă, efectele relativiste de contracţie a timpului ar fi încă practic nule şi ar fi nevoie de aproximativ patruzeci de ani — cu o diferenţă de cîteva luni între calendarul călătorului şi cel de pe Pămînt — pentru a atinge

steaua Proxima Centauri. Or aducerea unui satelit locuit la viteza de şapte sau opt kilometri pe secundă constituie astăzi un eveniment remarcabil, care este sărbătorit. Un pieton merge de patru mii de ori mai încet; el ar trebui să meargă de patru mii de ori mai repede pentru a atinge această viteză, care este modestă pentru un călător nu „cosmic", ci pur şi simplu galactic, dar înspăimîntătoare dacă ne gîndim la mijloacele de a o atinge şi de a o stăpîni.

Stelele, Galaxia, Universul nu vor fi deci niciodată altceva decît un decor imuabil. Fără îndoială că nimeni nu va vedea vreodată Soarele pălind în depărtare, nici constelaţia Orion (Vînătorul) deformîndu-se puţin cîte puţin. Întreaga ştiinţă şi tehnică care ne separă de omul primitiv nu a răsturnat această relaţie originară: ochiul vede ceea ce mîna nu poate atinge.

Poate tocmai pentru că nu a putut atinge, omul a crezut întotdeauna că faţa lumii trebuia să-l înveţe ceva despre el însuşi, ceea ce a falsificat într-un fel cunoaşterea atît a omului, cît şi pe aceea a Universului. Are oare cosmologia în secolul al XX-lea o idee mai puţin nesigură decît în timpul lui Hesiod despre originile cosmice ale destinului uman? Unul dintre rezultatele frapante ale cercetării sale este în orice caz acela că dacă locuinţa omului este infimă în spaţiu, la scara structurilor cosmice, durata transformărilor fizice fără de care el nu ar putea exista nu este infimă în timp, la scara evenimentelor cosmice. Am avut de mai multe ori ocazia să remarcăm că atunci cînd se caută să se evalueze durata marilor cicluri ale Universului, aproape întotdeauna se găsesc valori cuprinse între patru şi cincisprezece miliarde de ani. Ideea de „generaţie cosmică", care joacă un rol atît de important în cosmologia lui Hoyle, pare bine fundamentată de observaţie. Or vîrsta scoarţei terestre este de acest ordin de mărime şi geneza fiinţelor vii a acoperit o fracţiune care desigur nu este neglijabilă. Prin urmare, chiar dacă existenţa umanităţii înseşi nu a fost pînă acum decît o scurtă strălucire în istoria chiar parţială a mediului său înconjurător, scînteia a fost îndelung pregătită. Omul are „o oarecare proporţie" în Univers prin durata pregătirilor pentru apariţia sa. Această descoperire contribuie la întărirea sentimentului de apropiere dintre lumea fizică şi noi.

Deci, dacă dorim, în maniera lui Lemaître sau a lui Gamow, ca istoria Universului să fi fost o suită de evenimente care nu se vor mai reînnoi, sau o vor face din ce în ce mai puţin, istoria omului este un episod care, prin durata sa, nu este neglijabil şi care are, în consecinţă, puţine şanse să se repete, chiar dacă s-a produs în mai multe exemplare. Ora spiritului a sunat deja în

natură; dacă, în schimb, istoria cosmică nu este decît o suită indefinită de generaţii, nu există motive ca şirul care conduce la om să nu se reînnoiască în condiţii care în mare sînt identice, iar în detaliu, infinit de variate. Aventura nu este însă nici scurtă, nici obişnuită: pentru a face o umanitate este fără îndoială nevoie de mai mult de o generaţie cosmică, căci o galaxie de hidrogen pur nu poate produce stele ca Soarele într-o singură generaţie.

Cosmologia dă omului şi alte motive să se considere ca un avatar cosmic puţin banal, să ridice o anumită pretenţie la excepţional. A spune, la vederea pustiurilor îngheţate sau a pădurilor de nepătruns, că natura este „inumană" înseamnă a avea o idee prea umană despre inuman. Astăzi ştiinţa ne arată mai bine ce este contrar naturii omului, materia la distanţa sa cea mai mare de spirit. În plasmele stelare sau interstelare care formează fondul banal, materialul brut al Universului, ceea ce domină este elementul cel mai simplu şi ceea ce este exclus, în general, este compunerea atomilor, existenţa moleculelor, arhitecturile complexe. Nici măcar atomul nu reuşeşte să se formeze, să se menţină în forma pe care o cer combinările chimice, singurele care pot declanşa diferenţierea structurilor materiale. Entităţile fizice complexe sînt rare.

Ele sînt şi fragile. Dacă nu intervin cauze locale şi accidentale de distrugere înainte ca ceasul să-i sune după orologiul astrofizicii, destinul omului poate să fie desigur foarte lung. Dar acest ceas va suna, şi „sfîrşitul lumii" poate fi citit pe diagrama vechilor roiuri stelare. El va veni atunci cînd Soarele va părăsi „secvenţa principală", îşi va lua rămas bun de la stelele calme şi stabile care trăiesc din rezervele lor de hidrogen pentru a intra într-o fază de evoluţie rapidă şi de convulsii. Trăim prin faptul că un astru nu a ajuns încă să moară.

Raritatea este o relaţie, pe cînd unicitatea nu este. Dacă s-ar fi dovedit că Pămîntul este singura planetă în care materia se compune cum trebuie, ar trebui să constatăm că lumea distruge neapărat spiritul după ce neapărat l-a făcut să se nască sau l-a tolerat. Dar nu există nici un mijloc pentru a dovedi această unicitate şi există cîteva motive pentru a crede că, deoarece numărul compensează raritatea unor condiţii favorabile, şi spiritul este în Univers o formă de existenţă care se repetă şi se reînnoieşte.

Individul dispreţuieşte mulţimea şi vrea să fie ales în mod special pentru un destin deosebit, pe care l-ar merita. „Personalismul" contemporan face încă loc acestui mit înduioşător. Este într-adevăr şocant, dacă „nu am dat la o parte ideea de merit", ca Gide, că hazardul aranjează lucrurile atît de bine; şocant şi

neliniştitor, pentru că ceea ce face hazardul poate la fel de bine să desfacă, fără nici un fel de consideraţie pentru merit. Totuşi, Epicur ne-a învăţat că înţelepciunea începe cu această constatare. Nu rezultă de aici că hazardul este suficient pentru a face un înţelept, ci că şansa fundamentală a individului deosebit, a fiinţei rare, este enorma abundenţă a banalităţii. În această privinţă, Cosmosul, aşa cum îl vedem, pare să ne aprovizioneze din plin. Printre cele şase mii de stele vizibile cu ochiul liber, omul poate figura ca o excepţie de neînlocuit şi de neînţeles. Unicul care merită prea mult pentru a îndrăzni să-l explicăm prin hazardul întîlnirii dintre moluşte, să-l abandonăm dilatării viitoare a Soarelui fără a încerca să-i găsim vreun refugiu în afara timpului şi a spaţiului.

Dar în sutele de miliarde de stele ale Galaxiei, printre miliardele de galaxii care populează Universul vizibil? Nu trebuie desigur să ne încredem prea mult în aceasta. Nimeni nu-şi poate imagina, chiar foarte vag, cu ce putere negativă a lui zece ar scădea probabilitatea cosmică a apariţiei spiritului, chiar dacă am avea vreo posibilitate de a face o estimare, ceea ce nu este cazul. Or aşa cum am văzut, timpul trece în Univers şi, datorită expansiunii, imobilizării materiei şi a potenţelor ei în stelele moarte, şansele pierdute nu se mai regăsesc.

Nu este deci surprinzător să vedem un naturalism modern reluînd aici drumul tradiţional al oricărui naturalism, prin postularea, odată cu generarea continuă a materiei, a unei puteri indefinite de reînnoire în natură. Dacă vrem să ieşim, nu din caverne, ci din mitul cavernelor, este suficient să înzestrăm hazardul cu tot ceea ce îi trebuie pentru a deveni creator. Or hazardul este cel mai puţin pretenţios dintre demiurgi, cea mai simplă şi cea mai uniformă materie îi este suficientă. Hidrogen, hidrogen şi iarăşi hidrogen, şi spiritul va sfîrşi prin a apărea, pentru a dispărea şi a renaşte, mereu nou, în galaxii din a cincea sau a şasea generaţie... Odată cu Voltaire, dumnezeu din Biblie se face ceasornicar; odată cu Hoyle, anticul Pan devine „potenţial de creaţie". Poţi să-l iubeşti încă şi sub această formă, şi să-l admiri că a devenit atît de respectuos faţă de matematică, că raţiunea se reîntoarce la el pentru a-şi lămuri relaţiile pe care le are cu devenirea.

Anexă

Convenții de notare

Coordonatele varietăților de gen spațiu-timp:

x^0, t, coordonate de gen temporal.
x^1, x^2, x^3; x, y, z; r, θ, φ coordonate de gen spațial.
Indicii μ, ν,... și orice alt indice grec pot lua valorile 0, 1, 2, 3.
Indicii latini, i, j, k, nu pot lua decît valorile 1, 2, 3.
Convenția lui Einstein: într-o expresie algebrică se sumează după orice indice care se găsește în același timp și sus și jos; exemple:

$$u^i v_{ij} = u^1 v_{1j} + u^2 v_{2j} + u^3 v_{3j},$$

$$A^\mu A_\mu = A^0 A_0 + A^1 A_1 + A^2 A_2 + A^3 A_3.$$

Simboluri de derivare: derivare parțială ordinară: $\partial_\nu = \dfrac{\partial}{\partial x^\nu}$; derivare covariantă în raport cu x^ν: ∇_ν.
Derivare în raport cu variabila timp în cazul cînd este notată cu t, a lui $A(t)$: $\dot{A}$, $\ddot{A}$.

Notații folosite în teoriile cosmologice

După un obicei în general respectat, vom folosi litera R pentru a nota factorul de expansiune care apare în metricile „robertsoniene". Pentru a evita confuziile, litera G va fi folosită pentru tensorii fundamentali construiți pornind de la tensorul metric $g_{\mu\nu}$, litera g pentru determinantul acestui tensor, litera γ pentru constanta newtoniană a gravitației; k va fi indicele de curbură al spațiului ($= 0$, -1, sau $+1$). În expresiile netensoriale, indicele 0 plasat jos va desemna valoarea la epoca actuală a mărimilor cosmologice; H_0 va fi constanta lui Hubble.

I. Varietăţi riemanniene. Tensori asociaţi acestor varietăţi. Derivare covariantă. Tensor de curbură (Scurtă trecere în revistă a cîtorva noţiuni geometrice.)

O *varietate* V_n, diferenţiabilă, de dimensiune n, de clasă C^p, este un spaţiu topologic conex şi separat, asupra căruia se fac următoarele ipoteze: fiecare punct P al lui V_n are o vecinătate Ω homeomorfă cu R^n (R^n : produsul topologic al mulţimii numerelor reale cu ea însăşi, de n ori); acest homeomorfism permite localizarea lui P prin coordonatele x^μ ale imaginii sale în R^n. Ω este o *hartă* a lui V_n. Dacă P aparţine intersecţiei a două hărţi, cărora le corespund coordonatele u^μ, v^ν, atunci aplicaţia $u^\mu \rightarrow v^\nu$ a lui R^n în el însuşi este de clasă C^p.

O *schimbare de coordonate admisibilă* pentru un punct P al lui V_n:

$$x'^\mu = x'^\mu(x^0, x^1, \ldots, x^n) \tag{1}$$

va fi un homeomorfism de clasă C^p al lui R^n asupra lui însuşi.

În aceste condiţii, jacobianul aplicaţiei (1) este diferit de zero peste tot:

$$\frac{D(x'^0, \ldots, x'^n)}{D(x^0, \ldots, x^n)} \neq 0. \tag{2}$$

Cu aceste ipoteze se poate demonstra că dimensiunea n a varietăţii este o proprietate care îi aparţine intrinsec.

O varietate *riemanniană* V_4 (ne vom mărgini de acum încolo, fără excepţii, să considerăm varietăţi de dimensiune $\leqslant 4$ şi de o clasă suficient de înaltă pentru a putea efectua toate operaţiile de diferenţiere necesare în teoriile cosmologice) este o varietate diferenţiabilă dotată cu *proprietăţi metrice* prin introducerea formei pătratice invariante:

$$\begin{gathered} ds^2 = g_{\mu\nu}\, dx^\mu dx^\nu, \qquad (\mu, \nu = 0, 1, 2, 3) \\ g_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}(x^0, x^1, x^2, x^3), \qquad g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}, \\ g = \det(g_{\mu\nu}) \neq 0. \end{gathered} \tag{3}$$

Clasa celor *zece* funcţii numerice $g_{\mu\nu}$ de coordonate va fi întotdeauna considerată astfel încît toate operaţiile de diferenţiere să poată fi efectuate.

La transformarea de coordonate (1), diferenţialele $\mathrm{d}x^{\mu}$ se transformă astfel:

$$\mathrm{d}x'^{\mu} = \left(\frac{\partial x'^{\mu}}{\partial x^{\sigma}}\right)\mathrm{d}x^{\sigma}. \tag{4}$$

Invarianţa formei (3) impune ca prin (1) funcţiile $g_{\mu\nu}$ să se transforme în

$$g'_{\mu\nu} = \frac{\partial x^{\sigma}}{\partial x'^{\mu}} \frac{\partial x^{\rho}}{\partial x'^{\nu}} g_{\sigma\rho}, \tag{5}$$

existenţa mărimilor $\dfrac{\partial x^{\mu}}{\partial x'^{\nu}}$ rezultînd din (2).

Forma (3) permite să se definească în fiecare punct *tensori* asociaţi varietăţii V_4; ne vom mărgini să dăm cîteva exemple şi să definim un criteriu necesar şi suficient pentru recunoaşterea tensorilor, criteriu pe care se bazează dealtfel *utilitatea* lor.

Un tensor de ordinul doi, dublu *covariant*, este un ansamblu de 4^2 funcţii numerice de punctele varietăţii, care la schimbarea de coordonate (1) se transformă astfel:

$$T'_{\mu\nu} = \frac{\partial x^{\sigma}}{\partial x'^{\mu}} \frac{\partial x^{\rho}}{\partial x'^{\nu}} T_{\sigma\rho}. \tag{6}$$

Un tensor de ordinul doi, dublu *contravariant*, se transformă astfel:

$$T'^{\mu\nu} = \frac{\partial x'^{\mu}}{\partial x^{\sigma}} \frac{\partial x'^{\nu}}{\partial x^{\rho}} T^{\sigma\rho}. \tag{7}$$

La un tensor mixt de ordinul doi T^{μ}_{ν}, indicele contravariant μ se transformă după regula (7), iar indicele covariant ν după regula (6); este evident că criteriul se poate extinde la tensori de orice ordin.

Un tensor de ordinul întîi v^{ν} (sau v_{ν}) este un *vector contravariant* (respectiv *covariant*); un tensor de ordinul doi este simetric dacă $T_{\mu\nu} = T_{\nu\mu}$ şi antisimetric dacă $T_{\mu\nu} = -T_{\nu\mu}$.

Din (4) se vede imediat că $\mathrm{d}x^{\mu}$ sînt componentele unui vector contravariant şi că $g_{\mu\nu}$ sînt componentele unui tensor simetric covariant de ordinul doi, *tensorul metric* al varietăţii.

Fiind dat tensorul $g_{\mu\nu}$, dacă se definesc cele zece funcţii $g^{\mu\nu}$ prin relaţia:

$$g^{\mu\nu} = \frac{[g_{\mu\nu}]}{g}, \tag{8}$$

unde $g = \det(g_{\mu\nu})$ şi $[g_{\mu\nu}]$ este minorul corespunzător lui $g_{\mu\nu}$ în dezvoltarea lui g, în felul acesta se defineşte un tensor de ordinul doi contravariant, căci din (8) rezultă că

$$g_{\mu\rho}g^{\nu\rho} = g'_{\mu\rho}g'^{\nu\rho} = \delta^{\nu}_{\mu} = \begin{cases} 0 \text{ dacă } \mu \neq \nu \\ 1 \text{ dacă } \mu = \nu \end{cases} \tag{9}$$

tensor care de fapt nu este distinct de $g_{\mu\nu}$.

În general, existenţa tensorului metric face să nu existe o deosebire intrinsecă între tensorii sau vectorii contravarianţi şi cei covarianţi, ci numai între componentele contravariante sau covariante ale *aceloraşi* tensori sau vectori.

Definiţia permite să se dea reguli pentru transformarea celor două feluri de componente unele în altele:

$$\left.\begin{aligned} &T_{\mu\nu} = g_{\mu\sigma}T^{\sigma}_{\nu} \text{ (coborîrea indicelui contravariant } \sigma \text{ al lui } T^{\sigma}_{\nu}). \\ &\mu^{\lambda} = g^{\sigma\lambda}u_{\sigma} \text{ (ridicarea indicelui covariant al lui } u_{\sigma}). \\ &S_{\mu\nu} = g_{\mu\sigma}g_{\nu\lambda}S^{\sigma\lambda} \text{ (coborîrea celor doi indici contravarianţi ai lui } S^{\sigma\lambda}). \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

De aici rezultă definirea a două operaţii, cea de *înmulţire contractată* a doi tensori sau vectori, şi cea de contracţie a unui tensor. Exemple:

— *Înmulţirea contractată a doi vectori u şi v*:

$$W = u^{\mu}v_{\mu} = g_{\mu\sigma}u^{\mu}v^{\sigma} = u^0v_0 + u^1v_1 + u^2v_2 + u^3v_3, \tag{11}$$

W este un scalar invariant, numit *produsul scalar* al celor doi vectori.

— *Contracţia unui tensor de ordinul patru* $G^{\sigma}_{\mu\nu\rho}$:

$$G_{\mu\nu} = G^{\sigma}_{\mu\nu\sigma} = G^{0}_{\mu\nu0} + G^{1}_{\mu\nu1} + G^{2}_{\mu\nu2} + G^{3}_{\mu\nu3}. \tag{12}$$

Se vede că contracţia transformă un tensor de ordinul p într-un tensor de ordinul $p-2$; ea transformă un tensor de ordinul doi într-un scalar.

Produsul scalar al unui vector cu el însuşi defineşte norma acestui vector:

$$\| u \| = u^{\mu} u_{\mu} = g_{\mu\nu} u^{\mu} u^{\nu}. \tag{13}$$

Această normă nu este în mod necesar pozitiv definită. Relaţia (13) permite interpretarea matematică a operaţiunilor de măsurare efectuate în orice regiune a spaţiu-timp-ului identificabilă cu un domeniu al unei varietăţi riemanniene.

O varietate riemanniană este *euclidiană* dacă există o schimbare de coordonate (1) care transformă în orice punct funcţiile $g_{\mu\nu}$ din forma (3) în δ^{ν}_{μ}. Este *pseudoeuclidiană* dacă există o schimbare de coordonate care transformă funcţiile $g_{\mu\nu}$ în $\pm \delta^{\nu}_{\mu}$.

Într-o varietate neeuclidiană V_4 este întotdeauna posibil să se definească în fiecare punct formele Pfaff:

$$\theta^{\mu} = a^{\mu}_{\nu} \, \mathrm{d}x^{\nu}$$

(care nu sînt diferenţiale), astfel încît:

$$\mathrm{d}s^2 = \sum_{\mu=0}^{3} \pm (\theta^{\mu})^2. \tag{14}$$

Numărul de semne + şi — ale descompunerii în pătrate este o proprietate intrinsecă a varietăţii, *signatura* sa.

Pe o varietate euclidiană sau pseudoeuclidiană raportată la un sistem de coordonate în care componentele $g_{\mu\nu}$ nu sînt constante (de exemplu planul raportat la coordonate polare) şi, cu atît mai mult, pe o varietate riemanniană oarecare, în care $g_{\mu\nu}$ nu pot fi reduse la nişte constante, studiul variaţiei unui tensor de la un punct la un punct vecin impune o definire a derivării şi a diferenţierii care să facă aceste operaţii covariante, adică independente de alegerea coordonatelor.

Acest rezultat este obţinut prin definirea *conexiunii*. Ne vom mărgini să dăm formulele aplicabile atît varietăţilor riemanniene, cît şi varietăţilor euclidiene, în coordonate curbilinii.

Coeficienţii conexiunii:

$$\left.\begin{aligned} &\Gamma_{\mu\sigma\nu}=[\mu\nu,\sigma]=\frac{1}{2}(\partial_\nu g_{\mu\sigma}+\partial_\mu g_{\nu\sigma}-\partial_\sigma g_{\mu\nu}),\\ &\Gamma^\sigma_{\mu\nu}=\{^{\sigma}_{\mu\nu}\}=g^{\sigma\lambda}\Gamma_{\mu\lambda\nu}=\frac{1}{2}g^{\sigma\lambda}(\partial_\nu g_{\mu\lambda}+\partial_\mu g_{\nu\lambda}-\partial_\lambda g_{\mu\nu}),\\ &\Gamma^\sigma_{\mu\nu}=\Gamma^\sigma_{\nu\mu}.\end{aligned}\right\} \quad (15)$$

Pe o varietate V_4 coeficienţii Γ formează un ansamblu de 40 funcţii numerice de variabile; acestea nu sînt componentele unui tensor.

Derivata covariantă:

$$\nabla_\sigma u^\mu=\partial_\sigma u^\mu+\Gamma^\mu_{\sigma\lambda}u^\lambda$$

$$\nabla_\sigma T^{\mu\nu}=\partial_\sigma T^{\mu\nu}+\Gamma^\mu_{\sigma\lambda}\,T^{\lambda\nu}+\Gamma^\nu_{\sigma\rho}T^{\mu\rho} \quad (16)$$

şi la fel pentru orice alt indice contravariant;

$$\nabla_\sigma u_\mu=\partial_\sigma u_\mu-\Gamma^\lambda_{\sigma\mu}u_\lambda,$$

$$\nabla_\sigma T_{\mu\nu}=\partial_\sigma T_{\mu\nu}-\Gamma^\lambda_{\sigma\mu}T_{\lambda\nu}-\Gamma^\rho_{\sigma\nu}T_{\mu\rho} \quad (16')$$

şi la fel pentru orice alt indice covariant.

Din aceste definiţii rezultă că derivata covariantă a unui tensor de ordinul p este un tensor de ordinul $p+1$, ceea ce asigură independenţa operaţiei de derivare faţă de sistemul de coordonate.

Din (15) şi (16) se obţine:

$$\nabla_\sigma g_{\mu\nu}=0,$$

$$\nabla_\lambda g_{\mu\nu}T=g_{\mu\nu}\nabla_\lambda T \;(T,\text{ tensor oarecare}). \quad (17)$$

Aceasta este *teorema lui Ricci*. Ea arată că derivarea covariantă anulează efectele variaţiei tensorului metric şi operează intrinsec asupra mărimilor geometrice.

Contractînd indicele de derivare covariantă cu un indice al tensorului derivat se obţine *divergenţa tensorială*.

Exemplu :

$$\nabla_\nu T^{\mu\nu} = \nabla_0 T^{\mu 0} + \nabla_1 T^{\mu 1} + \nabla_2 T^{\mu 2} + \nabla_3 T^{\mu 3}. \qquad (18)$$

Geodezicele :

Pe o varietate riemanniană există curbe care generalizează dreptele varietăţilor euclidiene; acestea sînt *geodezicele*. Ele pot fi definite ca fiind curbele al căror vector unitar tangent se deplasează paralel cu el însuşi; un vector u^λ se deplasează paralel cu el însuşi dacă :

$$u^\lambda \nabla_\lambda u^\mu = 0.$$

Dacă $u^\mu = \frac{dx^\mu}{ds}$ este vectorul tangent la curbă, ecuaţia geodezicelor se scrie :

$$\frac{d^2x^\nu}{ds^2} + \Gamma^\nu_{\mu\sigma}\frac{dx^\sigma}{ds}\frac{dx^\mu}{ds} = 0. \qquad (19)$$

Aceste curbe, care joacă un rol foarte important în teoriile cosmologice, au, printre altele, următoarele proprietăţi remarcabile, dealtfel bine cunoscute în mecanică şi în teoria suprafeţelor :

1. Fiind dat punctul P al lui V_4, există întotdeauna o vecinătate a lui P pe varietate astfel încît prin orice punct al acestei vecinătăţi şi prin P trece o geodezică şi numai una.

2. Fiind date două puncte A şi B ale lui V_4, integrala $\int_A^B ds$ atinge un *extremum* pe arcul AB format de geodezica ce trece prin aceste două puncte.

Pe varietăţile a căror formă (3) nu este pozitiv definită există geodezice cu ecuaţia :

$$ds = 0, \qquad (20)$$

care nu sînt descrise de formula (19); acestea sînt traiectoriile fotonilor în teoria relativităţii şi în toate teoriile cosmologice.

Studiul variaţiei coeficienţilor Γ ai conexiunii pe o varietate riemanniană conduce la definirea unui tensor fundamental de ordinul 4, *tensorul Riemann-Christoffel*, care exprimă o proprietate

geometrică intrinsecă a varietăţii şi care, datorită faptului că generalizează conceptele teoriei suprafeţelor, se mai numeşte şi *tensor de curbură*. Ne vom mărgini să-i dăm formula:

$$G^{\tau}_{\mu\nu\sigma} = \partial_{\nu}\Gamma^{\tau}_{\mu\sigma} - \partial_{\sigma}\Gamma^{\tau}_{\mu\nu} + \Gamma^{\alpha}_{\mu\sigma}\Gamma^{\tau}_{\alpha\nu} - \Gamma^{\alpha}_{\mu\nu}\Gamma^{\tau}_{\alpha\sigma}. \qquad (21$$

Contractînd în (21) indicii σ şi τ — vezi (12) — se obţine tensorul lui Ricci (cu semn schimbat [1]):

$$G_{\mu\nu} = G^{\lambda}_{\mu\nu\lambda}. \qquad (22)$$

Din (21) rezultă că $G_{\mu\nu}$ este un tensor simetric.

Contractînd $G_{\mu\nu}$ se obţine un scalar invariant care, abstracţie făcînd de semn, este *curbura riemanniană scalară* a varietăţii:

$$G = G^{\mu}_{\mu} = g^{\mu\nu}G_{\mu\nu}. \qquad (23)$$

Pe o varietate euclidiană sau pseudoeuclidiană, tensorii şi scalarii (21), (22) şi (23) sînt identic nuli.

În cazul general, tensorul Riemann-Christoffel satisface o identitate diferenţială remarcabilă, identitatea lui Bianchi:

$$\nabla_{\lambda}G^{\tau}_{\mu\nu\sigma} + \nabla_{\nu}G^{\tau}_{\mu\sigma\lambda} + \nabla_{\sigma}G^{\tau}_{\mu\lambda\nu} = 0. \qquad (24)$$

Folosind regulile de contractare a tensorilor şi teorema lui Ricci, această relaţie se poate pune sub forma:

$$\nabla_{\lambda}\left(G^{\lambda}_{\sigma} - \frac{1}{2}\, g^{\lambda}_{\sigma}G\right) = \nabla_{\lambda}S^{\lambda}_{\sigma} = 0. \qquad (25)$$

Tensorul S^{λ}_{σ} este numit tensorul lui Einstein şi (25) exprimă faptul că divergenţa sa tensorială este nulă. Această relaţie este fundamentală în relativitatea generalizată, unde serveşte la exprimarea principiului conservării energiei.

II. Teoria relativităţii restrînse (principii şi relaţii fundamentale)

Această teorie dezvoltă consecinţele a două axiome introduse de Einstein, primul care a înţeles şi a demonstrat cu toată clarita-

---

[1] În cosmologie, autorii scriu de obicei ecuaţiile lui Einstein cu tensorul (22), şi nu cu tensorul lui Ricci al geometrilor, $-G_{\mu\nu}$, obţinut prin contractarea indicilor τ şi ν în (21).

tea că combinarea lor este posibilă şi necesară pentru coerenţa conceptelor fundamentale ale fizicii şi acordul lor cu experienţa, cu toate că aceste axiome par la prima vedere să ducă la rezultate stranii, chiar paradoxale. Aceste axiome sînt:

1. *Invarianţa vitezei luminii*, a cărei măsurare dă rezultate independente de viteza relativă a sursei şi a observatorului.

2. *Principiul relativităţii restrînse.* Dacă numim sistem inerţial orice sistem aflat în repaus sau în mişcare rectilinie şi uniformă în raport cu axele lui Copernic, nici o experienţă fizică efectuată în interiorul unui astfel de sistem nu poate pune în evidenţă starea de mişcare relativă (rectilinie şi uniformă) a acestui sistem în raport cu un altul.

Din aceste două axiome, luate împreună, rezultă că intervalele de lungime şi intervalele de timp dintre obiectele şi evenimentele fizice nu mai sînt proprietăţi intrinseci, mărimea lor depinzînd de observator.

Transformarea Lorentz între două sisteme inerţiale stabileşte corespondenţa dintre măsurătorile de timp şi de lungime; alegînd axa x în direcţia vitezei relative a celor două sisteme, ea se scrie astfel:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \qquad y' = y, \qquad z' = z, \qquad t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \tag{26}$$

Ansamblul transformărilor de acest tip formează un grup, *grupul Lorentz.*

Din formula (26) se vede imediat că teoria relativităţii restrînse exclude orice viteză de deplasare a unei acţiuni materiale superioară vitezei luminii.

Din (26) rezultă că intervalul spaţio-temporal s^2 definit prin:

$$s^2 = c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2 = c^2t'^2 - x'^2 - y'^2 - z'^2 \tag{27}$$

este un invariant al transformării Lorentz.

Plecînd de aici, este posibil să se dea teoriei o formă geometrică, presupunînd că putem reprezenta cadrul spaţio-temporal al fenomenelor fizice printr-o varietate pseudoeuclidiană V_4, care se scrie:

$$ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2. \tag{28}$$

Această varietate este numită spaţiu-timp-ul lui Minkowski.

Mărimile fizice sînt atunci, din punctul de vedere al acestei teorii, scalari, vectori sau tensori asociați acestei varietăți.

Din (28) decurg imediat diferite consecințe importante: Coeficienții metricii fiind constante, geodezicele date de ecuațiile (I, 19) și (I, 20) sînt drepte. Primele sînt traiectorii spațio-temporale, sau linii de univers ale sistemelor inerțiale sau galileiene, iar celelalte sînt traiectorii ale luminii. Datorită signaturii sale:

$$+ - - - \qquad (28')$$

se spune că varietatea este de formă hiperbolică normală. Forma pătratică ds^2 nu este pozitiv definită; din această cauză există trei feluri de geodezice, de-a lungul cărora avem, respectiv:

a) $ds^2 < 0$. Acestea sînt drepte de *gen spațial*; nici o acțiune fizică nu se poate propaga de-a lungul lor;

b) $ds^2 = 0$. Acestea sînt traiectoriile fotonilor;

c) $ds^2 > 0$. Acestea sînt traiectoriile particulelor galileiene. Ele sînt de *gen temporal*.

Mulțimea geodezicelor *b*) care trec printr-un punct dat descriu în spațiu-timp un con (tridimensional) care separă trei domenii (cvadridimensionale):

Trecutul, mulțimea punctelor-evenimente P care pot fi legate cu O printr-o acțiune fizică exercitată în sensul PO.

Viitorul, mulțimea punctelor-evenimente Q care pot fi legate cu O printr-o acțiune fizică exercitată în sensul OQ.

Și restul, mulțimea punctelor-eveniment care nu pot fi legate cu O prin nici o acțiune fizică [1].

Această împărțire în domenii spațio-temporale este o proprietate intrinsecă a varietății și nu depinde de sistemul ales. Transformările grupului Lorentz fac ca o axă de gen temporal să treacă într-o axă de gen temporal și, respectiv, o axă de gen spațial într-o altă axă de același tip, dar nu pot face ca o axă de gen temporal să treacă într-o axă de gen spațial.

Axiomele teoriei și expresia lor geometrică, relațiile (26), (27) și (28), au consecințe importante în întreaga teorie fizică.

În ceea ce privește *electromagnetismul*, teoria relativității restrînse permite, fiind singura care reușește, o exprimare geometrică satisfăcătoare a principiilor sale, dînd o expresie tensorială ecuațiilor lui Maxwell și înlăturînd orice deosebire de natură între cîmpul electric și cîmpul magnetic; ea nu schimbă nimic din conținutul acestor ecuații.

---

[1] Vezi fig. I, p. 495.

În schimb, în ceea ce privește *cinematica* și *dinamica*, mult timp considerate de filozofia naturii ca științe directoare, relativitatea restrînsă a impus o revizuire a conceptelor lor fundamentale, mai ales a celor de *viteză*, *masă* și *energie* și, prin conceptul de energie, întreaga fizică a fost pusă în discuție.

— Din forma spațio-temporală (28) rezultă că deplasarea în spațiu și deplasarea în timp a unui obiect fizic sînt două aspecte ale unui aceluiași fenomen cinematic. De aici noțiunea de *viteză* ca cvadrivector atașat varietății (28), vector ale cărui componente contravariante sînt pentru o particulă punctuală de coordonate t, x, y, z, într-un sistem galileian:

$$u^0 = \frac{c\mathrm{d}t}{\mathrm{d}s};\ u^1 = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}s};\ u^2 = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}s};\ u^3 = \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}s}$$

sau, în notație tensorială:

$$u^\mu = \frac{\mathrm{d}x^\mu}{\mathrm{d}s}. \qquad (29)$$

— Prin simpla schimbare a sistemului galileian, un corp care era „în repaus" devine „în mișcare" și astfel pare a căpăta *energie cinetică*; totuși schimbarea sistemului nu îl influențează intrinsec. O teorie covariantă trebuie deci să precizeze natura și modul de transformare a mărimii fizice, care, într-un anumit sistem, apare ca impuls și energie cinetică.

În felul acesta sîntem conduși la a atribui unui corp, într-un sistem galileian în care este în repaus, o *energie de repaus*

$$E_0 = m_0 c^2, \qquad (30)$$

m_0 fiind coeficientul care măsoară inerția corpului în acest sistem, „masa sa de repaus".

Energia E nu este un invariant, ci se transformă astfel la o transformare Lorentz (26):

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \qquad (31)$$

Nici masa nu este un invariant, ci se transformă astfel:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \qquad (32)$$

Rezultă relaţia covariantă dintre masă şi energie:

$$E = mc^2. \tag{33}$$

Ecuaţia precedentă, stabilită de Einstein în 1905, domină întreaga fizică contemporană; ea unifică cele două principii de conservare, a masei şi a energiei. Verificările sale experimentale sînt numeroase.

III. Relativitatea generalizată

Teoria relativităţii restrînse nu dădea principiului relativităţii mişcării decît o aplicare limitată. Pe de altă parte, Einstein, în acord în această privinţă cu Mach, nu se declara satisfăcut de o definiţie a inerţiei care făcea din aceasta o proprietate intrinsecă, absolută, a corpurilor, în timp ce experienţa arăta că forţele de inerţie se compun cu cele care rezultă din interacţiunile dintre corpuri, în special gravitaţia, şi par prin efectele lor observabile cu totul echivalente cu aceste forţe [1]. Aceste consideraţii, împreună cu altele, l-au condus la căutarea unei teorii geometrice a gravitaţiei, în care existenţa unui cîmp gravitaţional să fie exprimată matematic prin structura metrică a spaţiu-timp-ului.

Mai precis, Einstein a construit această teorie în acord cu următoarele trei axiome:

1. *Covarianţa*: Forma legilor fizice trebuie să fie independentă de alegerea coordonatelor care permit reperarea în spaţiu-timp.
2. *Echivalenţa*: Forţele de inerţie sînt de aceeaşi natură cu forţele de gravitaţie.
3. *Determinarea metricii de către materie*: Proprietăţile metrice ale spaţiu-timp-ului sînt determinate în fiecare punct de distribuţia maselor şi a energiei în vecinătatea acestui punct.

În plus, teoria trebuia să conducă în primă aproximaţie la rezultate identice cu cele ale teoriei newtoniene a gravitaţiei, remarcabil de bine confirmate de experienţă, ceea ce l-a determinat pe Einstein să caute o ecuaţie comparabilă cu ecuaţia Poisson din teoria newtoniană:

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2} = \Delta\Phi = 4\pi\gamma\rho, \tag{34}$$

unde Φ este potenţialul gravitaţional, iar ρ, densitatea masei în punctul considerat. Această ecuaţie se reduce, pentru cazul ex-

[1] Spre exemplu, pentru un satelit artificial al Pămîntului, forţele de inerţie anulează pur şi simplu greutatea.

terior (un punct situat în vid, în exteriorul corpului care produce acţiunea), la ecuaţia lui Laplace :

$$\Delta\Phi = 0.$$

Einstein a fost deci determinat să scrie, în 1915, ecuaţiile relativiste ale gravitaţiei, cunoscute astăzi sub numele de *ecuaţiile lui Einstein*, sub forma :

$$G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} G = - \varkappa T_{\mu\nu} \quad \varkappa = \frac{8\pi\gamma}{c^4}. \tag{35}$$

În primul membru recunoaştem *tensorul lui Einstein* (vezi I, 25) al unei varietăţi riemanniene V_4, de structură (I, 3). În cel de-al doilea membru, *tensorul energie-impuls* sau *tensorul material*, $T_{\mu\nu}$, reprezintă ansamblul proprietăţilor energetice ale continuului material al spaţiu-timp-ului în punctul considerat.

Acordul cu teoria relativităţii restrînse cere ca varietatea cu metrica $g_{\mu\nu}$ să fie de formă hiperbolică normală în orice punct în care acesteia i se conferă o semnificaţie fizică (II, 28′).

În cazul exterior, adică într-un punct al spaţiului vid care înconjură distribuţia materială considerată, tensorul $T_{\mu\nu}$ este nul şi ecuaţiile lui Einstein devin :

$$G_{\mu\nu} = 0. \tag{36}$$

Din condiţia (I, 25) rezultă că divergenţa tensorială a lui $T_{\mu\nu}$ este nulă : acesta este principiul conservării materiei-energiei.

Tensorul lui Einstein, $G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} G$, nu este singurul care satisface condiţia (I, 25) şi ansamblul axiomelor teoriei. Se poate demonstra că tensorul cel mai general care satisface toate aceste condiţii este :

$$G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} G + \Lambda g_{\mu\nu},$$

unde Λ este o constantă ; aceasta este *constanta cosmologică*, numită astfel pentru că Einstein a introdus-o în ecuaţiile sale, în 1917, în vederea rezolvării problemei cosmologice.

Ecuaţiile lui Einstein capătă atunci forma :

$$G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} G + \Lambda g_{\mu\nu} = - \varkappa T_{\mu\nu}. \quad (37)$$

Tensorul $T_{\mu\nu}$ depinde de natura distribuţiei materiale considerate. În teoriile cosmologice nu se ia în general în consideraţie decît cazul *fluidului perfect*, pentru care tensorul energie-impuls se scrie sub forma :

$$T^{\mu\nu} = (c^2 \rho + p) u^\mu u^\nu - p g^{\mu\nu}, \quad (38)$$

ρ şi p fiind respectiv densitatea şi presiunea fluidului în punctul considerat, iar u^μ avînd sensul din (II, 29).

Generalizarea principiilor de *extremum* din fizica clasică conduce în relativitatea generalizată la *legea geodezicelor* :

În vecinătatea sau în interiorul distribuţiilor de materie-energie, corpul de probă descrie geodezicele (I, 19) ale varietăţilor de metrică $g_{\mu\nu}$, soluţii ale ecuaţiilor lui Einstein (35, 36, sau 37). Fotonii descriu geodezicele $ds = 0$ ale acestor varietăţi.

Problema generală a integrării ecuaţiilor lui Einstein este extrem de dificilă şi determinarea explicită a soluţiilor nu este posibilă decît într-un număr restrîns de cazuri. Cel mai cunoscut este cel al *soluţiei lui Schwarzschild pentru cazul exterior.*

Această soluţie defineşte potenţialul gravitaţional produs în vidul înconjurător de o masă punctuală sau sferică, omogenă, presupunînd ca condiţii la limită că $g_{\mu\nu}$ iau la infinit valori galileiene; în coordonate polare avînd originea în centrul masei, obţinem :

$$ds^2 = c^2 dt^2 \left(1 - \frac{2m}{r}\right) - \frac{dr^2}{1 - \frac{2m}{r}} - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2\theta \, d\varphi^2. \quad (39)$$

Mărimea m, care în (39) are dimensiunile unei lungimi, măsoară, într-un sistem de unităţi convenabile, masa centrală.

Se vede că :

a. Relaţia (39) prezintă o singularitate pe sfera $r = 2m$.

b. Pentru ca relaţia (39) să satisfacă local condiţia de compatibilitate cu spaţiu-timp-ul Minkowski, trebuie ca $1 - \frac{2m}{r} > 0$; soluţia nu are deci sens fizic în interiorul sferei $r = 2m$.

Se demonstrează că soluția (39) rămîne valabilă, oricare ar fi transferurile de masă și de energie în interiorul sferei centrale, cu condiția ca aceste transferuri să nu altereze simetria sferică a distribuției (teorema lui Birkhoff, 1923).

Aplicînd relația (39) la problema mișcării planetelor în jurul Soarelui se găsește, cu ajutorul principiului geodezicelor, că traiectoria lor diferă puțin de elipsele kepleriene printr-o mișcare seculară a periheliului. Se obține astfel o explicație perfect satisfăcătoare a mișcării planetei Mercur, justificînd un insucces al mecanicii cerești clasice. Într-adevăr, acțiunea perturbatoare a altor planete nu explica decît parțial precesia periheliului acestei planete.

— Cu metrica (39), geodezicele luminii $ds = 0$ sînt curbate în vecinătatea masei centrale. Aceasta este cauza devierii razelor luminoase care trec în apropierea Soarelui, efect verificat cu o precizie destul de bună în cursul mai multor eclipse solare (prima observație : Eddington și colaboratorii, 1919).

— Datorită factorului $1 - \dfrac{2m}{r}$, care apare în coeficientul lui dt^2 al metricii (39), frecvența unei surse luminoase determinate se deplasează spre roșu atunci cînd sursa se apropie de centru. Este *efectul Einstein*, observabil astăzi în cîmpul gravitațional terestru, datorită deplasării anumitor linii de rezonanță nucleară cvasimonocromatice (efectul Mössbauer) — Pound și Rebka (1960).

IV. Elementul ds^2 al lui Robertson-Walker. Relații fundamentale ale cosmologiei robertsoniene

Cosmologia structurală, bazată sau nu pe teoria relativității generalizate, presupune în general că spațiu-timp-ul cosmic, *substratum*-ul metric al Universului, poate fi identificat, într-o primă aproximație, cu o varietate riemanniană V_4, a cărei metrică poate fi pusă sub forma :

$$ds^2 = c^2\, dt^2 - R^2(t)\, d\sigma^2, \tag{40}$$

unde $R(t)$ este o funcție numerică pozitivă, derivabilă, de variabila t, a cărei natură va fi precizată mai jos, iar $d\sigma^2 > 0$ este metrica unei varietăți riemanniene V_3 de curbură constantă.

Explicitînd $d\sigma^2$ cu ajutorul unor coordonate adecvate, asupra cărora vom reveni, relația (40) se scrie:

$$ds^2 = c^2\,dt^2 - \frac{R^2(t)}{\left(1 + \frac{kr^2}{4}\right)^2}(dr^2 + r^2\,d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta\,d\varphi^2), \quad (41)$$

unde $k = \begin{cases} -1 \\ 0 \\ +1 \end{cases} \quad 0 \leqslant r,\ 0 \leqslant \theta \leqslant \pi,\ 0 \leqslant \varphi \leqslant 2\pi.$

Din punct de vedere al dimensiunilor fizice, ds^2 are dimensiunea L^2, $R(t)$ are dimensiunea L, iar r, φ, θ sînt adimensionale.

Formula (41) pentru ds^2 a fost stabilită de Robertson (1929) în cadrul teoriei relativității generalizate. În urma dezvoltării teoriei relativității cinematice, Robertson și Walker au arătat însă, în mod independent (1936), că relația (41) poate fi construită fără a face apel la toate axiomele specifice relativității generalizate, pe baza altor axiome, străine acestei teorii. Iată, fără a fi vorba de exhaustivitate sau de rigurozitate perfectă, *axiomele robertsoniene*, a căror expresie formală este dată de (41):

A. Spațiu-timp-ul cosmic este pretutindeni identificabil cu o varietate riemanniană V_4 de formă hiperbolică normală.

B. Lumina parcurge geodezicele $ds = 0$ ale acestei metrici.

C. În cadrul acestei varietăți V_4 se poate distinge o familie de geodezice (T), care sînt traiectoriile de univers ale particulelor *substratum*-ului material și care au următoarele proprietăți:

1. Două curbe ale familiei (T) (linii de timp) nu se întretaie, cu excepția poate a unui punct, în care se intersectează toate. Printr-un punct oarecare nu trece deci decît o singură geodezică a familiei (T).

2. Există o familie (E) (hipersuprafețe „spațiale") de varietăți V_3, ortogonale pe toate curbele (T). Date fiind două varietăți ale familiei (E), E_1 și E_2, o curbă oarecare T a familiei (T), notînd cu t_1 și t_2 intersecția lui T, cu E_1 și E_2, intervalul $s = \int ds$ luat pe T între t_1 și t_2 nu depinde atunci decît de E_1 și E_2; acesta este intervalul de *timp cosmic*, care este identic cu timpul propriu al oricărei particule care parcurge o linie (T). Această axiomă este adesea numită „principiul lui Weyl" (Weyl, 1923), sau, mai general,

„postulatul timpului cosmic". Adoptarea acestui postulat revine la a face din separarea timpului de spaţiu o proprietate intrinsecă a varietăţii cosmice V_4. Curbele (T) sînt numite deseori „geodezicele lui Weyl" sau „liniile de univers ale materiei".

D. Varietăţile V_3, ortogonale geodezicelor (T), sînt varietăţi cu adevărat riemanniene, omogene, izotrope în orice punct, de curbură riemanniană scalară constantă (vezi I, 23); axioma *D* reprezintă forma geometrică a *principiului cosmologic.*

Robertson a arătat că ansamblul propoziţiilor precedente formează un tot coerent, care poate fi construit cu ajutorul teoriei grupurilor prin „metoda operaţională", adică pornind de la un ansamblu de postulate referitoare la posibilitatea de a efectua măsurători ordonate şi comunicabile fără echivoc, între observatori situaţi la distanţă în spaţiu-timp. Aceste postulate sînt o generalizare a celor din care Helmholtz şi Lie obţinuseră forma generală a oricărei varietăţi metrice tridimensionale în care se pot face măsurători coerente.

În formula (41), t reprezintă *timpul cosmic*, iar r, θ, φ coordonate spaţiale *comobile* (co-moving), adică astfel încît o particulă a *substratum*-ului cosmic, parcurgînd o geodezică a lui Weyl, nu îşi modifică coordonatele spaţiale.

Numărul k, egal cu 1, 0, sau −1, este indicele de curbură al varietăţii spaţiale. Dacă $k = 0$, spaţiul este euclidian, „plat" şi infinit. Dacă $k = +1$, el este hipersferic, „închis", finit. Dacă $k = -1$, el este hiperbolic, „deschis", infinit. Axiomele robertsoniene nu permit nici o afirmaţie directă cu privire la infinitatea spaţială a Universului.

Există o infinitate de schimbări ale coordonatelor spaţiale care conservă forma (40) pentru (41), păstrînd în acelaşi timp caracterul comobil al coordonatelor; le dăm aici pe cele mai obişnuite:

Scriind $\bar{r} = \dfrac{r}{1 + \dfrac{kr^2}{4}}$, obţinem[1]:

$$d\sigma^2 = \frac{d\bar{r}^2}{1 - k\bar{r}^2} + \bar{r}^2\, d\theta^2 + \bar{r}^2 \sin^2\theta\, d\varphi^2. \tag{42}$$

[1] Această schimbare de coordonate nu este, nici pentru $k = 1$, nici pentru $k = -1$ un homeomorfism al numerelor reale pozitive asupra lor însele; pentru a justifica folosirea sa ar fi necesară o discuţie topologică.

Dacă $k = 1$, $0 \leqslant \bar{r} \leqslant 1$ şi $\bar{r} = \sin \chi$, avem [1]:

$$d\sigma^2 = d\chi^2 + \sin^2 \chi \, d\theta^2 + \sin^2 \chi \sin^2 \theta \, d\varphi^2. \tag{43}$$

$$0 \leqslant \chi \leqslant \pi$$

Dacă $k = -1$, $\bar{r} = \operatorname{sh} \chi$ (sh = sinus hiperbolic), avem:

$$d\sigma^2 = d\chi^2 + \operatorname{sh}^2 \chi \, d\theta^2 + \operatorname{sh}^2 \chi \sin^2 \theta \, d\varphi^2. \tag{44}$$

$$-\infty < \chi < +\infty$$

Metrica (41) permite, fără nici o altă ipoteză, şi prealabil oricărei determinări a lui k şi $R(t)$, definirea unor relaţii remarcabile care formează baza oricărei confruntări a cosmologiei teoretice cu observaţia astronomică.

Decalajul spectral.

Dacă observatorul situat în origine primeşte la momentul t_0 un foton care a pornit la momentul t_1 din sursa de coordonată radială r_1 şi la momentul $t_0 + \Delta t_0$ un alt foton pornit la momentul $t_1 + \Delta t_1$, vom avea relaţiile:

$$\int_{t_1}^{t_0} \frac{dt}{R(t)} = \frac{1}{c} \int_0^{r_1} \frac{dr}{1 + \frac{kr^2}{4}} = \int_{t_1+\Delta t_1}^{t_0+\Delta t_0} \frac{dt}{R(t)}. \tag{45}$$

Relaţia (45) rezultă din (41) în virtutea axiomei B, ţinînd seama că r_1 este independent de t, că $R(t) > 0$ şi că timpul cosmic creşte de la t_1 la t_0, iar r de la 0 la r_1. Deoarece Δt_0 şi Δt_1 sînt foarte mici în raport cu $t_0 - t_1$, relaţia (45) implică:

$$\frac{\Delta t_1}{R(t_1)} = \frac{\Delta t_0}{R(t_0)}. \tag{46}$$

Dacă S este o sursă de natură fizică determinată, monocromatică, iar Δt_1 este perioada sa într-un sistem de referinţă legat de particula r_1 de care este ataşată, este natural să postulăm că această perioadă este egală cu cea *măsurată în origine* pentru o

---

[1] Alegerea intervalului de variaţie se bazează pe o ipoteză arbitrară din punct de vedere al topologiei globale a spaţiului, anume că punctele „antipozi", $\chi = 0$ şi $\chi = \pi$, sînt distincte; unii autori preferă să le identifice. În primul caz, spaţiul este numit „sferic"; dacă antipozii se identifică, el se numeşte „eliptic".

sursă de aceeași natură situată în permanență în origine. Diferența dintre Δt_0 și Δt_1 se traduce deci, în origine, printr-un decalaj de frecvență între sursa îndepărtată și sursa locală de referință.

În termeni de lungime de undă și notînd cu λ lungimea de undă la emisie într-un sistem în care sursa este în repaus și cu $\Delta\lambda$ decalajul observat în O, (46) se scrie sub forma:

$$1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 1 + z = \frac{R(t_0)}{R(t_1)}. \tag{47}$$

Se vede că decalajul spectral z este, ca și în efectul Doppler clasic, independent de λ. Pe de altă parte, t_1 fiind anterior lui t_0 în timp cosmic, z este pozitiv, deci spectrul se deplasează spre roșu dacă $R(t)$ este o funcție crescătoare (Univers în expansiune). Renunțînd la indicele 1 în (45), (46), (47) și scriind R în loc de $R(t)$, R_0, $\dot{R}_0$, $\ddot{R}_0$ în loc de $R(t_0)$, $\dot{R}(t_0)$, $\ddot{R}(t_0)$ și notînd $\alpha = H_0$, $H_0 = \frac{\dot{R}_0}{R_0}$, $\beta = \frac{\ddot{R}_0}{R_0}$, $q_0 = -\frac{R_0\ddot{R}_0}{\dot{R}_0^2}$, se obțin pentru R și z dezvoltările în serie pînă la ordinul al doilea:

$$R = R_0\left[1 - \alpha(t_0 - t) + \frac{1}{2}\beta(t_0 - t)^2 + \ldots\right] \tag{48}$$

$$z = \alpha(t_0 - t) + \frac{1}{2}[2\alpha^2 - \beta](t_0 - t)^2 + \ldots \tag{49}$$

Spre deosebire de R_0 și $t_0 - t$, z este o mărime măsurabilă.

Pentru ca relațiile (48) și (49) să poată fi folosite în vederea unei confruntări cu observația astronomică, trebuie definit un concept de *distanță*, care să țină cont de faptul că luminozitatea aparentă a unei galaxii, mărime măsurabilă, este afectată nu numai de depărtarea sa, ci și de deplasarea spre roșu. Se definește astfel o *distanță-luminozitate* D, aleasă în așa fel încît să poată înlocui, în formulele astronomice, distanța în sensul clasic al cuvîntului. Dacă r este coordonata radială a galaxiei, iar z decalajul său spectral, distanța-luminozitate D se definește la timpul t prin relația:

$$D = R_0(1 + z)\frac{r}{1 + \frac{kr^2}{4}} \tag{50}$$

(definiția lui McVittie).

Eliminarea lui r dă dezvoltarea în serie pînă la ordinul al doilea a lui D în funcţie de z:

$$D = \frac{cz}{H_0}\left[1 + \frac{1}{2}(1 - q_0)z + \ldots\right]. \tag{51}$$

În cazul clasic, euclidian ($k = 0$) şi static ($z = 0$), distanţa în sensul obişnuit al cuvîntului este, din (45), $R_0 r$; ea coincide cu D.

În acest caz este evident că, deoarece z şi H_0 sînt nule, formula (51) nu mai are sens.

În cazul general, se vede din (51) că dacă ne mărginim la primul ordin, D şi z sînt proporţionale; este interpretarea teoretică a legii lui Hubble, H_0 fiind *constanta lui Hubble* sau *constanta de recesiune*. Pe de altă parte, dacă r este mic, atunci şi z este mic; în expresia (50), zr şi r^2 devin neglijabile, iar D diferă puţin de distanţa clasică $R_0 r$. Se vede astfel în ce sens limitat şi aproximativ este deplasarea spre roşu „proporţională cu distanţa".

Elementul de volum al spaţiului tridimensional la timpul t este, după (41):

$$\mathrm{d}V = \frac{R^3(t) r^2 \sin\theta}{\left(1 + \frac{kr^2}{4}\right)^3}\, \mathrm{d}r\ \mathrm{d}\theta\ \mathrm{d}\varphi. \tag{52}$$

Dacă $k = 1$, volumul total al spaţiului la timpul t este finit şi se calculează imediat cu ajutorul coordonatelor (43):

$$V = R^3 \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\int_0^{\pi} \sin^2\chi \sin\theta\ \mathrm{d}\chi\ \mathrm{d}\theta\ \mathrm{d}\varphi = 2\pi^2 R^3. \tag{53}$$

Axiomele robertsoniene nu impun aprioric nici o ipoteză referitoare la distribuţia unor particule discrete (de exemplu galaxiile) între geodezicele lui Weyl, care formează un ansamblu continuu; mai general, fiind pur geometrice şi cinematice, ele nu permit nici un fel de raţionament cu privire la proprietăţile dinamice ale Universului.

Adăugînd la aceasta, în virtutea *principiului cosmologic*, ipoteza unei distribuţii uniforme a particulelor între geodezicele lui Weyl şi ipoteza conservării numărului de particule, în elementul de *volum-coordonată* (independent de R şi, în consecinţă, de t),

vom avea pentru numărul de particule din acest element, la orice moment :

$$\mathrm{d}N = \frac{nr^2 \sin\theta}{\left(1 + \frac{kr^2}{4}\right)^3}\,\mathrm{d}r\ \mathrm{d}\theta\ \mathrm{d}\varphi,\ n = \text{const.} \tag{54}$$

Numărul de particule repartizate în domeniul :

$$r \in [0,\ r_1],\ \ \theta \in [0,\ \pi],\ \ \varphi \in [0,\ 2\pi]$$

este :

$$N = 4\pi n \int_0^{r_1} \frac{r^2\,\mathrm{d}r}{\left(1 + k\frac{r^2}{4}\right)^3}. \tag{55}$$

Coordonata r a unei galaxii este legată prin ansamblul relațiilor precedente de caracteristicile sale observabile, *magnitudinea aparentă* și *deplasarea spre roșu*. În principiu, numărarea galaxiilor pînă la o anumită magnitudine limită — deci pînă la o anumită coordonată r_1 — ar trebui să permită cu ajutorul formulei (55) determinarea lui k, de care depinde valoarea integralei. Dar aplicarea practică a acestui test este dificilă.

Efectul de orizont în modelele robertsoniene.

Deoarece „viteza" de expansiune nu este mărginită superior de valoarea constantei c, ne putem aștepta, după forma funcției $R(t)$, ca observatorul situat în origine să nu poată primi oricînd fotoni provenind din toate punctele spațiului, chiar dacă se presupune că aștrii au emis întotdeauna radiații. Imaginea sa vizuală va putea fi mărginită de un „orizont", fie spre viitor, fie spre trecut.

Cu notațiile din IV, 45, avem pe parcursul fotonului pornit la momentul t_1 din punctul de coordonată radială r și sosit la momentul t_0 în origine :

$$I(t_1, t_0) = \int_{t_1}^{t_0} \frac{\mathrm{d}t}{R(t)} = F(r).$$

Problema orizontului se poate deci pune în două moduri :

1. Există oare, pentru orice t_1 și pentru orice r, un timp t_0? Altfel spus, un foton plecat de oriunde și oricînd ajunge cu necesitate în O?

Aceasta depinde de comportarea integralei $I(t_1, x)$ atunci cînd x tinde spre infinit. Dacă diverge, adică dacă $R(t)$ este un infinit mare de ordin mai mic sau egal cu t, se poate găsi întotdeauna un t_0 astfel încît I să atingă orice $F(r)$. Dacă, dimpotrivă, ea converge spre o limită $L(t_1)$, nici un foton pornit la t_1 din r, astfel încît $L(t_1) < F(r)$, nu va ajunge în O. $L(t_1)$ este o funcţie descrescătoare de t_1, astfel încît orice punct din Univers va sfîrşi prin a se „deconecta" de origine la o anumită epocă cosmică. Aceasta se produce dacă $R(t)$ este un infinit de ordin superior lui t, adică dacă expansiunea se accelerează indefinit.

2. Există oare pentru orice r şi pentru orice t_0 un timp t_1 sau, altfel spus, poate observatorul din O să primească în orice moment semnale provenind din tot Universul?

Răspunsul este afirmativ dacă $R(t)$ este mărginit şi nenul pe întregul interval $[-\infty, t_0]$; într-adevăr, în acest caz integrala $I(t_0, x)$ poate fi extinsă asupra acestui întreg interval şi diverge. Dacă $R(t)$ se anulează înainte de t_0, se poate presupune $R(0) = 0$. Dacă în cazul acesta $I(t_0, x)$ diverge cînd x tinde spre 0, se poate alege întotdeauna t_1 astfel încît I să depăşească în valoare absolută orice funcţie $F(r)$ şi O primeşte la momentul t_0 fotoni provenind din întreg Universul. Dar dacă $R(t)$ este un infinit de ordin inferior lui t, integrala converge şi există o întreagă parte a Universului de unde O nu va primi semnale decît după momentul t_0. Este ceea ce se petrece în modelul Einstein-de Sitter (vezi mai jos), în care $R(t) = \text{const} \cdot t^{2/3}$ şi în care un observator care ar aştepta suficient de mult timp ar asista la o „generare aparentă" de galaxii la orizontul cîmpului său de observaţie.

Modelul liniar, $R(t) = ct$, este singurul Univers în expansiune în care răspunsul la cele două întrebări este afirmativ.

V. Elementul ds^2 al lui Robertson în relativitatea generalizată. Ecuaţiile lui Friedman

În relativitatea generalizată, în virtutea principiului lui Mach (III, 3), proprietăţile geometrice ale unei varietăţi de forma (IV, 41) nu pot fi separate de anumite ipoteze asupra Universului considerat ca distribuţie de materie-energie. Istoric, metrica (IV, 41) a fost descoperită în cadrul relativităţii generalizate printr-o ajustare progresivă a *ipotezelor geometrice* şi a *ipotezelor fizice*, care au fost separate explicit pentru prima oară de Friedman în 1922.

Ipotezele fizice compatibile cu această metrică revin la a considera că conţinutul material al Universului este identificabil cu

un fluid perfect, descris de ecuaţiile (III, 38), ocupînd totalitatea spaţiu-timp-ului cosmic.

Folosind ipotezele geometrice şi notaţiile din (IV), tensorul (III, 38) capătă forma:

$$T_0^0 = c^2\rho\,;\ T_1^1 = T_2^2 = T_3^3 = -p\,;\ T_\nu^\mu = 0,\ \forall\mu \neq \nu, \qquad (56)$$

unde $c^2\rho$ este densitatea de materie-energie prezentă sub formă de masă sau de radiaţie, iar p, presiunea fluidului.

Ecuaţiile lui Einstein (III, 37) devin în acest caz:

$$\Lambda - \frac{kc^2 + \dot{R}^2 + 2\ddot{R}}{c^2R^2} = \varkappa p \qquad (57\,\mathrm{a})$$

$$-\Lambda + 3\,\frac{\dot{R}^2 + kc^2}{c^2R^2} = \varkappa c^2\rho\,, \qquad (57\,\mathrm{b})$$

unde $\varkappa = \dfrac{8\pi\gamma}{c^4}$, γ este constanta newtoniană a gravitaţiei, iar Λ, constanta cosmologică.

Vom numi ecuaţiile (57) *ecuaţiile lui Friedman*, pentru că Friedman este cel care le-a explicitat pentru prima oară, în 1922, pentru cazul $k = 1$, $p = 0$.

Se vede imediat din (57) că $\rho = \rho(t)$ şi $p = p(t)$, adică ρ şi p sînt, pentru o epocă cosmică dată, constante în tot spaţiul, ceea ce confirmă compatibilitatea dintre aspectul geometric şi aspectul fizic al *principiului cosmologic* în cosmologia lui Friedman.

Notînd cu V elementul de volum (IV, 52), integrat, de exemplu, pe domeniul:

$$r \in [0,\ 1],\ \ \theta \in [0,\ \pi],\ \ \varphi \in [0,\ 2\pi]$$

(alegerea domeniului de integrare este arbitrară datorită principiului cosmologic) şi punînd $\mathrm{d}V$ = const, $\mathrm{d}(R^3)$ = diferenţiala volumului V considerat ca funcţie de timpul cosmic[1], $E = c^2\rho V$, *energia* conţinută în acest volum, ecuaţia de conservare (I, 25), aplicată la (57) se scrie:

$$\mathrm{d}E + p\ \mathrm{d}V = 0. \qquad (58)$$

[1] $\mathrm{d}V$ nu are deci aici acelaşi sens ca în (IV, 52).

Forma acestei ecuaţii este remarcabilă şi foarte importantă din punctul de vedere al termodinamicii Universului lui Friedman. Ea este de fapt identică cu aceea care descrie în fizica clasică expansiunea sau contracţia *adiabatică* a unui gaz perfect. Totul se petrece ca şi cum fluidul cosmic „ar lucra" împotriva „forţelor exterioare". Pe de altă parte, deoarece (58) este o transformare adiabatică, ea ar putea fi şi o transformare *izentropică* dacă structura internă a fluidului cosmic ar fi suficient de simplă. Într-adevăr, cauzele obişnuite ale ireversibilităţii în transformările adiabatice locale (cele care ţin de interacţiunea sistemului cu mediul) sînt eliminate în cazul fluidului cosmic. În aceste condiţii, Universul, deşi este un sistem izolat, ar putea să evolueze indefinit fără variaţie de entropie; aplicarea relativităţii la Universul considerat în ansamblul său impune deci o revizuire a conceptului clasic de „moarte termică".

Integrarea ecuaţiilor lui Friedman (57) nu se poate face explicit decît dacă au fost determinate nu numai condiţiile iniţiale pentru R şi $\dot{R}$, ci şi:

1. Relaţia dintre ρ şi p; 2. valoarea lui Λ; 3. cea a lui k.

În ceea ce priveşte punctul 1, în general se iau două cazuri extreme:

a) $p = 0$; „Univers de praf". Aceasta este desigur o bună aproximaţie a Universului actual la scară cosmologică, avînd în vedere densitatea mică a radiaţiei şi valoarea mică a vitezelor *locale* ale obiectelor cosmice de masă mare, în raport cu viteza luminii;

b) $c^2\rho = 3p$; „Univers de lumină", în care nu mai există energie condensată în masă; s-ar putea ca această ipoteză să corespundă anumitor stări excepţionale ale Universului.

Cît despre punctul 2, orice am face, decizia rămîne arbitrară. Valoarea lui Λ nu rezultă nici din axiomele specifice ale relativităţii generalizate, nici din axiomele robertsoniene.

În principiu, punctul 3 ar putea fi rezolvat, în cadrul robertsonian, prin observaţie, prin numărătorile (IV, 55), independent de ecuaţiile lui Friedman. Pînă acum această determinare nu a fost posibilă, de unde rezultă interesul unei discuţii asupra formei soluţiilor $R(t)$ pentru diferite perechi de valori k, Λ.

Înainte de a trece la aceasta, să examinăm pe scurt condiţiile necesare pentru o soluţie *statică* $R(t) = \text{const.}$ Adunînd (57 *a*) şi (57 *b*) se obţine:

$$\frac{2k}{R^2} = \varkappa(c^2\rho + p). \tag{59}$$

Dacă se exclude posibilitatea unei presiuni negative, care nu corespunde nici unei proprietăţi observate a Universului, se vede că :

— dacă $k = 0$, relaţia (59) implică $\rho = 0$, $p = 0$; ecuaţiile lui Friedman nu sînt aplicabile decît unui Univers static vid;

— dacă $k = -1$, relaţia (59) este imposibilă : aşa cum a demonstrat Friedman, nu există o soluţie statică a ecuaţiilor sale într-un Univers hiperbolic (1924);

— dacă $k = 1$, există o soluţie statică, $R =$ const şi Λ este determinată (Einstein 1917); vezi mai jos, p. 462.

Să facem acum o discuţie succintă asupra formei soluţiilor $R(t)$ în funcţie de valorile lui k şi Λ. Pentru a simplifica, ne vom mărgini la cazul $p = 0$ şi, prin urmare, din (58), $\rho = \frac{\text{const}}{R^3}$.

Să punem (57 *b*) sub forma

$$\frac{3\dot{R}^2}{R^2} = \Lambda - \frac{3k}{R^2} + \frac{A}{R^3} = \Lambda - X(R), \tag{60}$$

$$A = \text{const} = \varkappa c^2 \rho_0 R_0^3 > 0\,,$$

se vede că, după valorile lui k şi Λ, vor exista sau nu valori ale lui R care vor face expresia $\Lambda - X(R)$ negativă şi nu vor putea avea nici o semnificaţie fizică. Dacă astfel de valori nu există, expansiunea ar putea fi monotonă, dar dacă există, mişcarea de expansiune va trebui să se inverseze atunci cînd R va atinge anumite valori pe care nu va putea să le „traverseze". Universul va trebui să „oscileze".

a) Dacă $k \leqslant 0$, $X(R)$ este negativ, monoton, crescător pe tot intervalul $R \in [0, \infty]$. Deci, dacă $\Lambda \geqslant 0$, $\Lambda - X(R) > 0$, de unde o expansiune indefinită; dacă $\Lambda < 0$, $\Lambda - X(R)$, mai întîi pozitivă, se va anula pentru o valoare finită $R_{\max}$ a lui R şi R va oscila între 0 şi $R_{\max}$.

b) Dacă $k = 1$, discuţia este mai complicată [1], pentru că $X(R)$ are un maxim pentru o valoare finită $R = R_e$, de unde existenţa unei valori critice pentru Λ, $\Lambda_e = X(R_e)$. Dacă $\Lambda > \Lambda_e$ (căci $\dot{R}$ este nul pentru $R = R_e$), atunci sau R rămîne în permanenţă egal cu R_e (modelul static al lui Einstein), sau R creşte de la 0 la R_e atunci cînd t tinde spre infinit, sau R creşte de la R_e la infinit, atunci cînd t variază de la minus la plus infinit (modelul lui Lemaître-Eddington). Dacă $\Lambda < \Lambda_e$, oscilează de la 0

[1] Vezi fig. II.

la R_1, sau de la R_2 la infinit[1]. În legătură cu această discuţie, din fig. II reiese în plus că forma funcţiei $X(R)$ exclude ca R să poată oscila între *două* valori *finite*. Tolman a demonstrat că acest lucru rămîne valabil chiar atunci cînd presiunea nu este nulă, cu toate că forma funcţiei $X(R)$ nu mai este aceeaşi în acest caz.

VI. Modele robertsoniene

Din infinitatea de metrici de tipul (IV, 40), există unele care se impun atenţiei, fie prin simplitatea lor sau prin vreo altă proprietate deosebită, fie printr-o adecvare mai satisfăcătoare la datele cele mai precise de observaţie. Unele dintre aceste modele remarcabile sînt soluţii ale ecuaţiilor lui Friedman, altele nu. Vom trece în revistă cîteva dintre ele, adoptînd următorul clasament, oarecum arbitrar : *A*) Modele statice ; *B*) Modele nerelativiste în expansiune ; *C*) Modele relativiste în expansiune sau modelele lui Friedman.

A. $R(t) = R_0 =$ const. Este evident că în aceste modele $z = 0$ (IV, 47). Nu se observă nici un decalaj spectral de origine cosmologică, ceea ce duce la eliminarea lor ca reprezentare chiar aproximativă a Universului real.

1. Spaţiu-timp-ul lui Minkowski (II, 28) este o metrică robertsoniană statică pentru $k = 0$. Dar, conform (V, 59), el nu este o soluţie a ecuaţiei lui Friedman, decît pentru un Univers vid ($\rho = p = 0$), ceea ce, împreună cu absenţa deplasării spre roşu, ne conduce la concluzia că, cu tot remarcabilul succes al relativităţii restrînse ca teorie fizică locală, această metrică nu poate fi considerată ca aplicabilă la scară cosmologică.

2. Cu $k = 1$, se obţine *Universul închis al lui Einstein* (1917)[2]

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R_e^2(d\chi^2 + \sin^2\chi\, d\theta^2 + \sin^2\chi \sin^2\theta\, d\varphi^2),$$
$$0 \leqslant \chi \leqslant \pi. \tag{61}$$

Luînd $p = 0$ în (V, 57), se vede că :

$$\Lambda_e = \frac{1}{R_e^2} = \frac{4\pi\gamma\rho_0}{c^2} \tag{62}$$

[1] În toată această discuţie sensul timpului este arbitrar. Friedman, care ignora deplasarea spre roşu a nebuloaselor, conduce dealtfel discuţia fără nici o ipoteză asupra sensului variaţiei. Faptul că fenomenele observate indică o expansiune conduce la presupunerea că timpul este orientat ca şi R, adică, pe figura II, de la stînga la dreapta.

[2] Vezi, nota de la p. 454.

Cunoaşterea lui ρ_0, mărime care în principiu se poate deduce din observaţii, determină deci „raza Universului" R_e şi constanta cosmologică Λ_e. Caracterul static al Universului lui Einstein este de fapt mai mult aparent decît real ; acest model este într-adevăr instabil faţă de o mică variaţie a lui R_e(Eddington, 1930). Într-adevăr, combinînd în mod convenabil formulele (57 *a*) şi (57 *b*) şi punînd $p = 0$, se obţine

$$6\ddot{R} = R(2\Lambda c^2 - 8\pi\gamma\rho).$$

Valoarea de echilibru a lui ρ este evident cea care anulează paranteza ; dacă intervine o uşoară contracţie (sau expansiune), ρ creşte (respectiv scade), $\ddot{R}$ devine negativ (respectiv pozitiv) şi contracţia (respectiv expansiunea) continuă.

B. Există două metrici robertsoniene remarcabile care au servit ca expresie formală celor două principale teorii cosmologice deductive, relativitatea cinematică şi teoria stării staţionare, care însă nu sînt soluţii ale ecuaţiei lui Friedman pentru $\rho \neq 0$.

1. *Modelul liniar al lui Milne.* Modelul de univers al relativităţii cinematice corespunde în formalismul robertsonian modelului $k = -1$, $R(t) = ct$, adică

$$ds^2 = c^2\,dt^2 - c^2t^2\,(d\chi^2 + \mathrm{sh}^2\chi\,d\theta^2 + \mathrm{sh}^2\chi\sin^2\theta\,d\varphi^2) \tag{63}$$

$$\left(R_0 = ct_0,\ \dot{R}_0 = c,\quad H_0 = \frac{1}{t_0},\quad \ddot{R}_0 = q_0 = 0\right).$$

Expansiunea este liniară şi metrica nu este definită pentru $t = 0$; ea nu este soluţie a ecuaţiilor lui Friedman dacă $\rho \neq 0$.

Cu privire la semnificaţia acestui model în teoria lui Milne, a se vedea mai jos, secţiunea IX.

2. *Modelul lui de Sitter şi teoria stării staţionare.* Teoria stării staţionare, în virtutea *principiului cosmologic perfect*, particularizează metrica (IV, 41) luînd $k = 0$, $R(t) = R_0\exp[H(t - t_0)]$,

$$ds^2 = c^2\,dt^2 - R_0^2\,e^{2H(t-t_0)}(dr^2 + r^2\,d\theta^2 + r^2\sin^2\theta\,d\varphi^2) \tag{64}$$

$$(\dot{R}_0 = HR_0,\quad H = H_0,\quad \ddot{R}_0 = H_0^2R_0,\ q_0 = -1).$$

Această metrică este definită şi nu are singularităţi pentru $-\infty < t < \infty$.

Ea este *staționară*, în sensul că o schimbare de coordonate $t = t' + \tau$ și o schimbare a scării lungimilor, $R_0 = R_0' \exp(-H\tau)$, face ca metrica (64) să-și păstreze forma, ceea ce exclude posibilitatea determinării prin observație a datei cosmice absolute. *Principiul cosmologic perfect* exclude posibilitatea ca mărimile măsurabile să fie variabile cu timpul; din (64) se vede că H_0 și q_0 sînt independente.

Dacă se folosește metrica (64), numărul de particule în *sfera-coordonată* de rază 1 (sferă constituită de mulțimea punctelor avînd coordonata radială comobilă $r = 1$) este după formula (IV, 55):

$$N = \frac{4\pi r}{3}.$$

Dar, la momentul t, observatorul fundamental din O atribuie în unitățile sale de măsură sferei S raza $R(t)r = R(t)$ și volumul $\left(\frac{4}{3}\right)\pi R^3$, $[R^3 = R_0^3 \exp 3H(t - t_0)]$. În sfera sa unitate *proprie* (de rază 1 și de volum $\left(\frac{4}{3}\right)\pi$ în unitățile sale de măsură), el numără deci $N' = \frac{N}{R^3}$ particule.

Dacă deci se presupune că N este constant, din aplicarea combinată a principiului de conservare și a principiului cosmologic, rezultă că N' va scădea cu expansiunea. Această consecință este însă în contradicție cu principiul cosmologic perfect, pentru că implică faptul că aspectul Universului se modifică cu timpul. În virtutea acestui principiu trebuie deci să punem:

$$N' = \frac{N_0}{R_0^3} = \text{const}; \text{ de unde } N = N_0 \exp 3H(t - t_0), \tag{65}$$

ceea ce fixează rata *generării continue de materie-energie*:

$$\frac{\dot{N}}{N} = 3H. \tag{65'}$$

Din principiul cosmologic perfect nu se poate trage nici o concluzie cu privire la raportul dintre N_0 și H, adică cu privire la raportul dintre densitatea efectivă și expansiune. T.S.S. nu este

o teorie dinamică. Vom vedea mai tîrziu că această relaţie poate fi stabilită în schimb în teoria lui Hoyle.

Cu valoarea dată de Oort pentru ρ_0 şi cea dată de Sandage pentru H, se obţine, din (65) şi (65'), rata de generare extrem de mică de 10^{-48} grame pe cm^3 şi secundă.

Referindu-ne la discuţia generală asupra efectelor de orizont, vedem că în modelul lui de Sitter, în care $R_0 = R(t_0)$, limita integralei $I(t_0, x)$ pentru x tinzînd spre infinit este $\frac{c}{R_0 H}$. Deoarece, pe de altă parte, $F(r) = r$, coordonata radială comobilă a orizontului, pentru fotonul *pornit* la momentul cosmic t_0, este :

$$r_0 = \frac{c}{R_0 H}\,.$$

Nici un semnal pornit la această dată sau după această dată de la o galaxie de coordonată radială mai mare decît r_0 nu va ajunge la observatorul din O. *Distanţa* $R_0 r_0 = \frac{c}{H}$ poate servi drept unitate cosmică de lungime; este ceea ce Hoyle numeşte *cut-off radius*, adică raza de trunchiere. În modelul lui de Sitter, nu există în schimb orizont înspre trecut: observatorul din O poate primi în orice moment semnale provenind din tot Universul : într-adevăr, $I(t_0, x)$, egal cu $-r$ cînd $x < t_0$, tinde spre minus infinit cînd x tinde spre minus infinit.

Metrica (64) nu este o soluţie a ecuaţiilor lui Friedman decît pentru $\rho = 0$. Ea nu poate fi considerată deci în relativitatea generalizată decît ca o valoare asimptotică a anumitor modele în care expansiunea se accelerează indefinit şi densitatea tinde spre zero. Cu toate acestea, ea a fost propusă ca o soluţie a ecuaţiilor lui Einstein de către de Sitter (1917), care căuta să combată ipoteza lui Einstein după care introducerea termenului în Λ în ecuaţiile cîmpului (III, 37) excludea orice soluţie într-un univers vid de materie-energie. Dar de Sitter nu folosea coordonatele lui Robertson.

Alegînd coordonate care nu sînt comobile, dar care permit compararea cu Universul lui Einstein (61), metrica (64) poate fi scrisă :

$$ds^2 = c^2 \cos^2\chi\, dt^2 - R_S^2(d\chi^2 + \sin^2\chi\, d\theta^2 + \sin^2\chi \sin^2\theta\, d\varphi^2), \quad (66)$$

$$0 \leqslant \chi \leqslant \pi$$

unde R_s este o constantă. Metrica (66) face ca modelul să pară *static*, aşa cum l-a văzut de fapt de Sitter. Pe de altă parte, ter-

menul $\cos^2\chi$ creează un „orizont" pentru $\chi = \frac{\pi}{2}$. În 1925, Lemaître și, independent, Robertson în 1928, au descoperit forma (64) a metricii. Cu aceste coordonate, modelul încetează de a mai apărea static, rămînînd totuși *staționar* în sensul definit mai sus.

C. Modele relativiste nestatice.

În toate aceste modele, vom presupune pentru simplificare că $p = 0$. Această ipoteză este dealtfel legitimă, așa cum am mai spus, avînd în vedere starea actuală a Universului observat, iar discuția cazului general arată cel mai adesea că această restricție nu modifică esențial aspectul soluțiilor, cu toate că, natural, diferența este foarte importantă din punct de vedere termodinamic.

1. *Modelul lui Einstein-de Sitter*[1]. Luînd, în afară de $p = 0$, și $k = 0$, $\Lambda = 0$ în ecuațiile lui Friedman și integrîndu-le, se obține modelul relativist în expansiune cel mai simplu, a cărui metrică este:

$$ds^2 = c^2\,dt^2 - R_0^2\left(\frac{t}{t_0}\right)^{4/3}(dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta\, d\varphi^2) \tag{67}$$

$$\left(H_0 = \frac{\dot{R}_0}{R_0} = \frac{2}{3}\frac{1}{t_0}, \qquad q_0 = -\frac{R_0\ddot{R}_0}{\dot{R}_0^2} = \frac{1}{2}\right).$$

Ca și modelul liniar, acest Univers prezintă o singularitate la momentul $t = 0$. Deoarece expansiunea se încetinește încontinuu, această singularitate este „apropiată". Vîrsta Universului reprezintă exact două treimi din inversul constantei lui Hubble, $t_0 \simeq 9 \cdot 10^9$ ani.

Este principala obiecție care i se poate aduce acestui model, pentru că valoarea pe care o prevede pentru q_0 corespunde destul de bine ultimelor estimări ale lui Baum și Sandage.

Pe de altă parte, relația (V, 57 *b*) dă

$$\frac{8\pi\gamma\rho_0}{3H_0^2} = 1. \tag{68}$$

2. *Un model închis oscilant*[2] (Friedman 1922, Einstein 1931). Luînd din nou $p = 0$, $\Lambda = 0$, dar $k = 1$, trebuie să obținem

[1] Vezi fig. III.
[2] Vezi fig. IV.

(vezi fig. II) un model în care R oscilează între **0** și o valoare finită R_{max}. Aceasta se poate verifica direct din (V, 57 *b*), care se scrie:

$$\dot{R}^2 = \frac{K - 3c^2 R}{3R} \quad (K = 8\pi\gamma R_0^3 \rho_0 = \text{const}) \tag{69}$$

și care implică

$$R \leqslant \frac{K}{3c^2}.$$

Cum $p = 0$ și $k = 1$, masa Universului este finită și constantă (V, 58) și egală, din (IV, 53), cu $2\pi^2 \rho_0 R_0^3$, iar $K = \frac{4\gamma M}{\pi}$. R poate fi numit „raza" hipersferei pulsante. Maximul său este determinat de masa Universului.

Ecuația (69) se integrează fără dificultăți. Curba $R(t)$ este o cicloidă a cărei ecuație se scrie, alegînd originea unghiurilor astfel încît la $t = 0$, $R = 0$:

$$\begin{aligned} ct &= \frac{2\gamma M}{3\pi c^2}(\varphi - \sin \varphi), \\ R &= \frac{2\gamma M}{3\pi c^2}(1 - \cos \varphi). \end{aligned} \tag{70}$$

Perioada, $T = \frac{4M\gamma}{3c^3}$, este, ca și raza, proporțională cu masa Universului.

Ca și în modelul lui Einstein-de Sitter, metrica are o singularitate la momentul $t = 0$ și, cum $\ddot{R} < 0$ sau $q_0 > 0$, epoca cosmică actuală t_0 este mai mică decît $\frac{1}{H_0}$. Este însă imposibil de definit relația dintre t_0 și H_0 (vezi fig. IV).

O nouă singularitate apare la momentul $t = T$, la sfîrșitul contracției care se declanșează în mod continuu, la $t = \frac{T}{2}$. Dacă se identifică momentele **0** și T, timpul cosmic este finit; universul este ciclic în sens tare.

Presupunînd din nou $\Lambda = 0$, $p = 0$, dar $k = -1$, se obţine modelul deschis în expansiune indefinită:

$$R = \frac{8\pi\gamma\rho_0 R_0^3}{c^2}(\text{ch}\,\Psi - 1),$$

$$ct = \frac{8\pi\gamma\rho_0 R_0^3}{c^2}(\text{sh}\,\Psi - \Psi), \tag{70'}$$

originea lui Ψ fiind aleasă în aşa fel încît $R = 0$, la momentul $t = 0$. La infinit, $\frac{dR}{dt}$ este egal cu th Ψ, adică cu 1. Expansiunea tinde să devină liniară. Acest model comportă şi o origine singulară la un anumit interval în trecut, inferior lui $\frac{1}{H_0}$. Studiat de Einstein în 1945, el a servit ca substrat cosmogoniei lui Gamow (Gamow a reţinut totuşi posibilitatea unei valori foarte uşor pozitive a lui Λ, ceea ce accelerează expansiunea începînd de la o anumită epocă şi permite să se împingă singularitatea puţin mai departe în trecut). Lifshitz a arătat că în acest model condensarea materiei este imposibilă numai prin acţiunea gravitaţiei.

3. *Modelul Lemaître-Eddington (1927) şi modelul Lemaître (1931)*[1]. Presupunînd $p = 0$, $k = 1$, dar $\Lambda = \Lambda_e$, Lemaître, după ce a redescoperit relaţiile (V, 57), a construit o soluţie pe care Eddington a adoptat-o, făcînd-o celebră. În acest model, R pleacă de la valoarea lui Einstein R_e la momentul $t = -\infty$ şi se dilată indefinit. Integrarea ecuaţiilor (V, 57) este posibilă şi conduce la o soluţie explicită de forma $t = t(R)$. Calculele sînt însă laborioase şi forma funcţiei este complicată în detaliu, cu toate că alura curbei este foarte simplă. Cînd t tinde spre $-\infty$, R tinde asimptotic spre R_e, printr-o relaţie logaritmică; cînd t tinde spre $+\infty$, funcţia $R(t)$ capătă forma lui de Sitter (64). În întreg intervalul $(-\infty, +\infty)$, $\ddot{R}$ este pozitiv, deci expansiunea se accelerează fără încetare. Este clar că, în acest model, timpul istoriei cosmice este infinit şi că $\frac{1}{H_0}$ nu indică nici o „vîrstă" (vezi fig. V).

Ulterior, Lemaître şi-a revizuit cosmologia pentru a o face compatibilă cu cosmogonia „atomului primitiv". Cu $\Lambda > \Lambda_e$, $k = 1$,

[1] Vezi fig. V şi VI.

R variază de la 0 la $+\infty$. Metrica este singulară pentru $t = 0$. Curba prezintă o inflexiune pentru $R = R_e$, de unde cele trei faze cosmogonice ale lui Lemaître : OA, explozia atomului primitiv și formarea norilor cosmici ; AB, încetinirea expansiunii și trecerea printr-o stare de pseudoechilibru care permite condensarea galaxiilor ; $B \to \infty$, epoca actuală, reluarea accelerată a expansinii, sfîrșitul marilor procese cosmogonice. În modelul lui Lemaître, t_0 este într-adevăr „vîrsta" Universului, dar $t_0 > \frac{1}{H_0}$ (vezi fig. VI).

VII. Cosmologie relativistă nerobertsoniană. Universuri „în rotație" și „anizotrope".

Ipotezele robertsoniene (IV, C, D) au inconvenientul de a introduce aprioric condiții extrem de restrictive, străine axiomaticii teoriei relativității. Pe de altă parte, în modelele robertsoniene, alegerea unei funcții $R(t)$ care se anulează pentru o valoare finită a timpului cosmic face să apară acea enigmatică *singularitate*, idee care displace fizicienilor și astronomilor. Totuși, nimic din observație nu exclude o astfel de alegere, ba chiar dimpotrivă.

Dacă se abordează problema din alt punct de vedere, cu o metodă strict relativistă, dificultățile devin rapid de nerezolvat (datorită mai ales dificultății racordării soluțiilor locale), din momentul în care se abandonează un model foarte simplificat pentru distribuția materiei-energiei cosmice.

O lărgire a cadrului robertsonian se obține păstrînd modelul fizic al fluidului perfect extins în întregul spațiu-timp, fără însă a-i restrînge aprioric posibilitățile de mișcare prin condițiile (IV, C, D). Alegînd atunci o coordonată timp x^0 astfel încît $c = 1$ și presupunînd că :

a. materia-energia cosmică este un fluid perfect, descris de ecuațiile (III, 38) ;

b. mișcarea sa este reperată prin coordonate *comobile* ;

c. presiunea sa este nulă.

Pentru cvadrivectorul viteză a fluidului vom avea :

$$u^\mu = \delta^\mu_0 ; \quad u_\nu = g_{\nu\mu} u^\mu = g_{\nu 0}, \tag{71}$$

iar pentru metrica spațiu-timp-ului cosmic[1] :

$$ds^2 = (dx^0)^2 + 2g_{0i}(x^j)\, dx^0\, dx^i + g_{ij}(x^\mu)\, dx^i\, dx^j. \tag{72}$$

[1] Formula lui Heckmann-Schücking, *Handbuch der Physik*. Pentru înțelegerea formulei (72), vezi convențiile de notație de la începutul acestei anexe.

Se poate arăta că ipoteza *timpului cosmic* (IV, C) este echivalentă cu cea făcută asupra metricii (72):

Este posibil întotdeauna să se găsească o schimbare de coordonate care să anuleze identic coeficienţii g_{0i}, conservînd forma (72) a metricii. Se demonstrează că coeficienţii g_{0i} trebuie să fie atunci componentele unui gradient, de unde relaţia (covariantă):

$$\partial_k g_{0i} - \partial_i g_{0k} = 0,$$

care se mai scrie şi sub altă formă, prin introducerea tensorului $\omega_{\mu\nu}$:

$$\omega_{\mu\nu} \equiv \frac{1}{2}(\partial_\nu u_\mu - \partial_\mu u_\nu) \equiv \frac{1}{2}(\nabla_\nu u_\mu - \nabla_\mu u_\nu) = 0, \qquad (73)$$

$$\omega_{\mu\nu} = -\omega_{\nu\mu}.$$

Prin analogie cu cinematica clasică, $\omega_{\mu\nu}$ poate fi numit *rotaţia fluidului*, iar ipoteza timpului cosmic se poate exprima spunînd că această rotaţie este nulă, după cum se poate numi „model în rotaţie" orice model de univers în care nu este îndeplinită condiţia (73).

Fiind pusă în evidenţă rotaţia, se poate continua *analiza cinematică* a fluidului cosmic (Heckmann-Schücking) introducînd:

a. Factorul de expansiune, care este scalarul $R(x^\mu)$, definit prin

$$\frac{1}{R}\partial_\mu R u^\mu = \frac{1}{3}\nabla_\lambda u^\lambda. \qquad (74)$$

b. Tensorul de *forfecare* $q_{\mu\nu}$, definit prin

$$q_{\mu\nu} = \frac{1}{2}(\nabla_\nu u_\mu + \nabla_\mu u_\nu) - \frac{1}{3}(g_{\mu\nu} - u_\mu u_\nu)\nabla_\lambda u^\lambda, \qquad (75)$$

de unde

$$q_{\mu\nu} = q_{\nu\mu}, \quad q^\sigma_\sigma = 0, \quad q_{\mu\nu}u^\nu = 0.$$

Analiza cinematică dă atunci relaţia

$$\nabla_\nu u_\mu = (g_{\mu\nu} - u_\mu u_\nu)\frac{1}{R}\partial_\lambda R u^\lambda + \omega_{\mu\nu} + q_{\mu\nu}. \qquad (76)$$

Ea permite să se clasifice un ansamblu de modele de univers mai generale decît modelele robertsoniene. Cazul robertsonian este cel în care se pune $\omega_{\mu\nu} = 0$ (ipoteza IV, *C*) și $q_{\mu\nu} = 0$ (ipoteza IV, *D*, izotropie a spațiului tridimensional). În acest caz, factorul R din (74) este identic cu factorul R din (IV, V, VI).

În cazul general (76), cu $p = 0$, ecuația lui Friedman este înlocuită de (Raychaudhuri, 1955):

$$\frac{\ddot{R}}{c^2 R} = \frac{1}{3}\left(\Lambda - \frac{4\pi\gamma\rho}{3c^2} - \varphi^2 + 2\omega^2\right), \tag{77}$$

unde R este considerat ca funcție de timpul propriu luat pe o linie de timp de-a lungul căreia g_{0i} se anulează identic (dealtfel fără a se anula pretutindeni) și

$$-2\omega^2 = g^{ij} g^{kl} \omega_{il} \omega_{kj},$$

$$\varphi^2 = q_{\mu\nu} q^{\mu\nu}.$$

(din metrica (72) și din definiția lui $q_{\mu\nu}$ și a lui $\omega_{\mu\nu}$ rezultă că ω^2 și φ^2 sînt pozitive).

În ecuația (77), termenul în ω^2 are semn opus termenului gravitațional care conține densitatea ρ. Cu alte cuvinte, conform analogiei clasice, rotația joacă rolul unei forțe *repulsive*, de vreme ce gravitația este atractivă. În schimb, termenul de forfecare acționează în același sens ca și gravitația.

Modelul lui Gödel este cel a cărui metrică de tip (72) se scrie:

$$ds^2 = a^2\left[(dx^0)^2 - (dx^1)^2 + \frac{e^{2x^1}}{2}(dx^2)^2 - (dx^3)^2 + 2e^{x^1}\, dx^0\, dx^2\right]. \tag{78}$$

Cu descompunerea

$$\theta^0 = dx^0 + e^{x^1}\, dx^2,\quad \theta^1 = dx^1,\quad \theta^2 = \frac{e^{x^1}}{\sqrt{2}}\, dx^2,\quad \theta^3 = dx^3,$$

avem

$$ds^2 = a^2\,[(\theta^0)^2 - (\theta^1)^2 - (\theta^2)^2 - (\theta^3)^2],$$

ceea ce dovedește că metrica (78) are signatura corectă.

Pe de altă parte, în varietatea (78) liniile de univers ale materiei sînt deschise. Cu notaţiile din capitolul prezent, din (78) se obţine:

$$u^0 = \frac{1}{a},\ u^1 = u^2 = u^3 = 0,\ u_0 = a,\ u_1 = 0,\ u_2 = ae^{x^1},\ u_3 = 0$$

$$\omega_{21} = -\omega_{12} = \frac{a}{2}e^{x^1},\ \omega_{\alpha\beta} = 0 \text{ pentru orice altă pereche } \alpha, \beta,$$

$$|\omega|^2 = \frac{1}{2a^2}$$

$$q_{\mu\nu} = 0, \text{ de unde } \varphi^2 = 0;\ \nabla_\lambda u^\lambda = 0,\ \partial_0 R = 0. \tag{79}$$

Metrica (78) este o soluţie a ecuaţiilor lui Einstein (III, 37), (III, 38), cu $p = 0$, cu condiţia ca:

$$\Lambda = -\frac{1}{2a^2} = -\frac{4\pi\gamma\rho}{c^2} = -|\omega|^2 \tag{80}$$

cum se poate verifica în formula (77), luînd valorile (79) pentru ω^2, φ^2, $\partial_0 R$.

Modelul lui Gödel este deci:

— infinit;
— fără timp cosmic;
— static, fără expansiune;
— fără forfecare;
— „în rotaţie": în fiecare punct, Universul pare să se rotească în jurul unei axe tangente la curba descrisă de x^3.

Dacă în Universul static al lui Gödel Λ este negativ, în loc să fie pozitiv ca în Universul static al lui Einstein, aceasta se datoreşte faptului că acţiunea gravitaţiei este compensată în acest caz de „forţa centrifugă" dată de rotaţie şi că menţinerea echilibrului necesită o *atracţie*, în timp ce în Universul lui Einstein era nevoie de o *repulsie* pentru a compensa gravitaţia.

Gödel a demonstrat că în acest model există *linii închise de gen temporal*: dacă P se află în viitorul lui Q pe o linie de univers a materiei, există o linie de gen temporal pe care Q se află în viitorul lui P[1].

[1] Demonstraţie, este adevărat, contestată de Chandrasekhar şi Wright. Vezi bibliografia, p. 504.

Gödel a discutat în continuare proprietățile unei clase de modele „în rotație'' particularizate prin următoarele axiome:

I. Soluția trebuie să fie omogenă.

II. Spațiul trebuie să fie finit: spațiul topologic ale cărui puncte sînt liniile de univers ale materiei este compact.

III. ρ nu este constant.

Din rotație rezultă o anizotropie care, în cazul în care nu este prea mare, se traduce prin împărțirea sferei de rază r în două emisfere 1 și 2, conținînd respectiv N_1 și N_2 galaxii, astfel încît:

$$\frac{(N_1 - N_2)}{N_1 + N_2} = \frac{9}{8} |\omega| \frac{rRH}{c^2}, \tag{81}$$

unde $|\omega|$ este mărimea unui vector spațial ω^i (legat de tensorul $\omega_{\mu\nu}$), care măsoară mărimea rotației, iar R și $H = \frac{\dot{R}}{R}$ au un sens analog celui din cazul robertsonian.

Deoarece $|\omega|$ poate fi calculat din vitezele de rotație ale galaxiilor, relația (81) este în principiu o relație observabilă.

În aceste soluții, mărimea rotației determină existența sau inexistența liniilor închise de gen temporal. Aceste linii nu pot exista dacă viteza liniară maximă produsă de rotație nu depășește valoarea c, adică cu aproximație dacă $|\omega| < \frac{c}{R}$ și în cazul în care varietățile $\rho = \text{const}$ diferă puțin de un spațiu de curbură constantă, egală cu $\frac{1}{R^2}$.

Expansiunea — sau contracția — este legată de rotație printr-o relație care, exprimată într-un sistem de coordonate în care $g_{00} = 1$ și $g_{i0} = 0$ de-a lungul curbei determinate de x^0, se scrie:

$$\omega^1 h^{1/2} = \text{const} \cdot R = -\det g_{ik}. \tag{82}$$

În general, vectorul ω^i nu se deplasează paralel cu el însuși de-a lungul liniilor de univers ale materiei. Aceasta ar explica, în cazul în care rotația galaxiilor este de origine cosmică, faptul că axele lor de rotație nu coincid.

Modele anizotrope cu singularități nepunctuale.

În aceste modele, $\omega_{\mu\nu} = 0$ și relația (72) capătă forma:

$$ds^2 = (dx^0)^2 - g_{ij}(x^\nu)\, dx^i\, dx^j. \tag{83}$$

Schücking şi Heckmann (1958) şi Robinson (1961) au arătat că există o clasă de modele de tipul (83), soluţii ale ecuaţiilor lui Einstein (III, 35), $\Lambda = 0$, (III, 38), $p = 0$, omogene, $\rho = \rho(x^0)$, şi în care forfecarea nu depinde decît de timp, $q_{ik} = q_{ik}(x^0)$. Presupunînd că spaţiul tridimensional ortogonal timpului cosmic este de curbură nulă, Robinson arată că se obţine o soluţie de forma :

$$g_{ii} = L^{2c_i/b}\, t^{(2/3 + 2c_i/b)}(Lt + b)^{(2/3 - 2c_i/b)}, \tag{84}$$

$$g_{ik} = 0 \text{ dacă } i \neq k,$$

unde L, c_i, b sînt constante care verifică relaţiile $b^2 = \Sigma c_i^2$ şi $\Sigma c_i = 0$.

Modelele (84) diferă de modelele lui Friedman numai prin aceea că factorul de expansiune este o funcţie de timpul cosmic, avînd o formă diferită în fiecare din cele trei dimensiuni. Prin urmare, proprietatea cea mai remarcabilă a metricii este următoarea : cele două singularităţi $t_1 = 0$ şi $t_2 = -\dfrac{b}{L}$ nu anulează în mod necesar toate cele trei componente g_{ii} ale tensorului metric, în acelaşi timp ; ele nu sînt deci în mod necesar punctuale.

Pentru a evita o singularitate punctuală, este într-adevăr suficient ca unul din coeficienţii c_i să ducă la o valoare nulă sau negativă a exponentului lui t, iar altul la acelaşi lucru pentru exponentul lui $(Lt + b)$ în expresia (84), ceea ce este compatibil cu condiţiile impuse coeficienţilor c_i ; dacă este aşa, pentru valori singulare ale lui t, expresia (84) va degenera într-o suprafaţă sau o linie, dar nu într-un punct.

Unele metrici de tipul (84) tind asimptotic spre metrica izotropă Einstein-de Sitter (VI, 67), ceea ce ar permite să se pună în acord izotropia actuală a Universului, şi presupunerile în favoarea acestui model, cu scurtimea trecutului cosmic pe care o implică.

VIII. Cosmologie newtoniană

Spaţiul este presupus infinit şi euclidian, iar timpul, independent din punct de vedere metric, variind de la $-$ la $+$ infinit ; *substratum*-ul este un fluid perfect omogen, astfel încît

$$p = p(t), \quad \rho = \rho(t). \tag{85}$$

Dacă O este o origine legată de fluid şi P o particulă oarecare aparţinînd fluidului, omogenitatea implică de asemenea

$$\bar{V} = A(t) \cdot \bar{r} \tag{86}$$

unde $\bar{r} = \overrightarrow{OP}$, $\bar{V} = \frac{d\bar{r}}{dt}$, iar $A(t)$ este o matrice ale cărei elemente a_{ik} nu depind decît de timp.

Dacă se adaugă ipoteza izotropiei, se obţine echivalentul newtonian al metricii robertsoniene; în acest caz

$$a_{ik} = f(t) \ \delta_{ik} \tag{87}$$

şi (86) se integrează imediat, obţinîndu-se

$$\bar{r} = R(t)\ \bar{r}_0, \frac{\dot{R}}{R} = f(t),\ R_0 = R(t_0) = 1,\ \bar{r}_0 = \bar{r}(t_0). \tag{88}$$

Aplicînd fluidului ecuaţia de continuitate, principiul de conservare capătă forma:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \mathrm{div}\ \ \rho\bar{V} = \frac{d\rho}{dt} + 3\rho(t)\ f(t) = 0, \tag{89}$$

adică

$$\rho = \frac{\rho_0}{R^3}, \tag{90}$$

ceea ce, într-o teorie care presupune spaţiul euclidian şi nu aplică principiul inerţiei energiei, este normal chiar dacă $p \neq 0$.

Pentru a merge mai departe, trebuie să aplicăm desigur fluidului cosmic legea newtoniană a gravitaţiei. Aceasta presupune rezolvate o serie de probleme delicate referitoare la valabilitatea acestei legi pentru sistemele a căror densitate nu se anulează la infinit. Admiţînd această valabilitate, ecuaţiile de mişcare ale fluidului se scriu sub forma:

$$\frac{d\bar{V}}{dt} + \frac{1}{\rho}\,\mathrm{grad}\ p - \bar{F} = 0,\ -\bar{F} = \mathrm{grad}\ \Phi, \tag{91}$$

$d\bar{V}/dt$ desemnînd derivata totală a lui (86) în raport cu timpul.

$\overline{F}$ verifică ecuaţia lui Poisson (III, 34), adică div $\overline{F} = -4\pi\gamma\rho$. Ecuaţia (91) implică, în cazul (85), în care grad $p = 0$:

$$R^2\ddot{R} + \frac{4}{3}\pi\,\gamma\rho_0 = 0, \tag{92}$$

de unde se vede că, dacă Universul nu este vid ($\rho_0 \neq 0$), ecuaţia newtoniană (92) nu admite o soluţie statică $R = \text{const.}$

Aceasta corespunde, în cosmologia relativistă, imposibilităţii existenţei unei soluţii statice a ecuaţiilor lui Friedman în cazul $\Lambda = 0$. Invers, o soluţie newtoniană statică devine posibilă dacă se dă ecuaţiei lui Poisson forma:

$$\text{div}\ \overline{F} = -4\pi\gamma\rho + \Lambda_N, \tag{93}$$

unde Λ_N este analogul newtonian al constantei cosmologice din teoria relativităţii, (93) fiind analogul newtonian al ecuaţiilor lui Einstein (III, 37). Λ_N şi Λ diferă din punct de vedere dimensional (dimensiunea lui Λ_N este T^{-2}, iar a lui Λ este L^{-2}).

Folosindu-se (93), relaţia (92) devine:

$$R^2\ddot{R} + \left(\frac{4}{3}\right)\pi\gamma\rho_0 - \frac{1}{3}\Lambda_N R^3 = 0 \tag{94}$$

sau, integrînd:

$$\dot{R}^2 = \left(\frac{8}{3}\right)\frac{\pi\gamma\rho_0}{R} + \left(\frac{1}{3}\right)\Lambda_N R^2 - k, \tag{95}$$

k fiind o constantă de integrare. Abstracţie făcînd de factorul c^2, (95) este identică formal cu ecuaţia lui Friedman *pentru cazul* $p = 0$ $\left(\text{căci, în acest caz, şi în tratarea relativistă avem } \rho = \frac{\rho_0}{R^3}\right)$. În relaţia (95) se regăsesc deci toate modelele lui Friedman cu presiune nulă. Istoric, descoperirea de către Milne a echivalenţei dintre cosmologia newtoniană şi cosmologia relativistă se referea la modelul Einstein-de Sitter (V, 67).

De fapt această echivalenţă poate fi extinsă la toate modelele relativiste în care distribuţia de materie este asimilată unui fluid perfect omogen, cu presiune nulă.

Heckmann şi Schücking au obţinut această generalizare făcînd o descompunere a matricii a_{ik} din (86), analoagă analizei cinematice a fluidului în relativitate (VII, 76):

$$a_{ik} = \frac{\dot{R}}{R}\,\delta_{ik} + q_{ik} + \varepsilon_{ikl}\omega_l, \tag{96}$$

(expansiune + forfecare + rotaţie),

unde ε_{ikl} este un tensor complet antisimetric, cu $\varepsilon_{123} = 1$.

Heckmann a studiat îndeosebi modelele newtoniene fără forfecare ($q_{ik} = 0$), dar cu expansiune şi rotaţie. Aplicînd ecuaţiile (91) şi (93) fluidului cosmic descris de ecuaţiile (85, 86, 96) şi alegînd axa x^3 ca axă de rotaţie, termenul care descrie rotaţia este de forma $\omega_3 = \frac{a}{R^2}$, $a = \text{const}$, iar pseudoecuaţia lui Friedman devine:

$$\dot{R}^2 = \frac{8\pi\gamma\rho_0}{3R} + \frac{\Lambda_N R^2}{3} - k - \frac{a^2}{R^2}\,. \tag{97}$$

Prezenţa ultimului termen din membrul al doilea, avînd întotdeauna semn negativ, face ca (97) să se anuleze pentru o valoare finită nenulă a lui R, care dă o limită inferioară contracţiei cosmice şi permite trecerea normală de la contracţie la expansiune, trecere imposibilă, după cum se ştie, în modelele izotrope.

IX. Relativitate cinematică

În această secţiune vom adopta formalismul lui Milne, cu excepţia „echivalenţei tridimensionale", adică a modelului de univers. În această privinţă vom renunţa să reproducem raţionamentele şi calculele atît de întortocheate ale lui Milne şi vom recurge la descrierea modelului milnean în cadrul formalismului lui Robertson (VI, 63). În prima parte, dedicată măsurării timpului etc., juxtapunerea simbolurilor trebuie înţeleasă în sensul compunerii operatorilor funcţionali: $\theta\varphi(t)$ înseamnă $\theta[\varphi(t)]$.

a. MĂSURAREA TIMPULUI — CONGRUENŢA — ECHIVALENŢĂ — SUBSTRATUM

Observatorul B citeşte pe ceasul său timpul t'_2 şi, simultan, pe ceasul lui A timpul t_1; el construieşte funcţia $t'_2 = \theta(t_1)$.

Observatorul A construieşte în acelaşi fel funcţia $t_3 = \varphi(t'_2)$.

Cele două ceasuri sînt congruente dacă

$$\theta \equiv \varphi, \tag{98}$$

θ și φ sînt *funcțiile-semnal* relative la această pereche de observatori. Dacă ceasurile sînt congruente, înseamnă că nu există decît o singură funcție-semnal pentru o pereche de observatori. Observatorii coliniari A_p, A_q...formează o *echivalență* dacă

$$\theta_{pq}\theta_{rs} = \theta_{rs}\theta_{pq} \tag{99}$$

pentru orice mulțime p, q, r, s, θ reprezentînd funcțiile-semnal. Într-o *echivalență liniară*, funcțiile-semnal sînt de forma :

$$\theta_{pq}(t) = \Psi\alpha_{pq}\Psi^{-1}(t), \tag{100}$$

unde Ψ este o funcție monoton crescătoare arbitrară, iar α sînt *numere* caracteristice pentru fiecare pereche de observatori.

Definirea coordonatelor :

$$t = \frac{1}{2}(t_1 + t_3), \tag{101}$$

$$r = \frac{1}{2}c(t_3 - t_1).$$

Aici, t_1 este momentul plecării semnalului, iar t_3 momentul reîntoarcerii semnalului în A. În funcțiile-semnal și în funcțiile de reetalonare a ceasurilor figurează timpurile t_i și nu timpul-coordonată t. Rezultă deci că orice schimbare a scării timpului reprezintă, în general, și o schimbare a scării spațiului.

Funcția *epocă-distanță* :

$$r = c\varphi_{12}(t), \tag{102}$$

unde t și r sînt coordonatele lui B măsurate de către A.

Funcția *mersul-ceasurilor* :

$$t' = f_{12}(t), \tag{103}$$

unde t' este timpul citit de A pe ceasul lui B în momentul în care A îi atribuie valoarea t.

În cazul unei echivalențe avem :

$$\varphi_{12} \equiv \varphi_{21} \equiv \varphi, \quad f_{12} \equiv f_{21} \equiv f. \tag{104}$$

Milne demonstrează că dacă funcțiile-semnal sînt date, funcțiile (102) și (103) sînt determinate.

Echivalența în mișcarea relativă uniformă (timpul t) :

definiție,

$$\Psi(t) \equiv t;$$

funcțiile-semnal,

$$\theta_{pq}(t) = \alpha_{pq} t;$$

funcția epocă-distanță,

$$c\varphi(t) = V_{pq} t;$$

funcțiile mersul-ceasurilor,

$$f(t) = \left(1 - \frac{V_{pq}^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}} t$$

cu

$$\frac{V_{pq}}{c} = \frac{\alpha_{pq}^2 - 1}{\alpha_{pq}^2 + 1}. \qquad (105)$$

De aici rezultă formulele lui Lorentz și formula relativistă de compunere a vitezelor.

Echivalența în repaus relativ (timpul τ) :

definiție,

$$\Psi(t) \equiv t_0 \log\left(\frac{t}{t_0}\right);$$

funcțiile-semnal,

$$\theta_{pq}(t) = t + t_0 \log \alpha_{pq};$$

funcția epocă-distanță,

$$c\varphi(t) = ct_0 \log \alpha_{pq} = \text{const};$$

funcția mersul-ceasurilor,

$$f(t) \equiv f. \qquad (106)$$

Cu toate că aceste formule sînt cele ale timpului τ (adică ale timpului galileian), simbolul τ nu apare din următorul motiv : Milne

defineşte timpul τ prin reetalonarea unui ceas deja etalonat în scara t, de unde apare o expresie puţin diferită, de forma :

$$\tau = t_0 \log \left(\frac{t}{t_0}\right) + t_0. \tag{107}$$

Echivalenţa tridimensională liniară E_3 este extinderea la trei dimensiuni a sistemului de observatori coliniari ale căror funcţii-semnal sînt date de legea (100). Dificultatea acestei generalizări constă în faptul că reetalonarea ceasurilor deformează în general structura metrică a spaţiului.

În formalismul robertsonian (care diferă de cel al lui Milne), relaţiile metrice ale particulelor-observatori din E_3 sînt exprimate prin (VI, 63) care, în coordonate carteziene, folosind pentru coordonatele robertsoniene litere barate, se scrie :

$$ds^2 = \overline{dt}^2 - \bar{t}^2 \frac{\overline{dx}^2 + \overline{dy}^2 + \overline{dz}^2}{\left[1 - \frac{1}{4}(\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2)\right]} = \overline{dt}^2 - \bar{t}^2\, \overline{d\sigma}^2. \tag{108}$$

Timpul t al lui Milne şi coordonatele spaţiale asociate, care exprimă măsurătorile făcute *local*, de către observatorul din punctul O, în sistemul lui E_3 definit de (105), sînt legate de $\bar{t}$, $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ prin relaţiile :

$$t = \bar{t}\,\frac{1 + \frac{1}{4}(\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2)}{1 - \frac{1}{4}(\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2)}, \quad x = \frac{\bar{x}\bar{t}}{1 - \frac{1}{4}(\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2)}, \quad y = \dots \tag{109}$$

În sistemul τ al lui E_3, definit de formula (107) aplicată timpului t în origine, adică timpului $\bar{t}$, (108) capătă forma

$$ds^2 = \exp\left(\frac{2(\tau - t_0)}{t_0}\right)[d\tau^2 - t_0^2\, \overline{d\sigma^2}]. \tag{110}$$

Coordonatele t, x, y, z — în scara t — sînt după Milne cele mai potrivite pentru descrierea proprietăţilor fundamentale ale lui E_3. În acest sistem de referinţă, elementul ds^2 ia forma din spa-

ţiul Minkowski, ceea ce pune în evidenţă invarianţa lui E_3 în raport cu grupul Lorentz.

Timpul galileian τ face ca particulele din E_3 să apară ca fiind în repaus relativ (coordonatele spaţiale care figurează în $\overline{\mathrm{d}\sigma^2}$ sînt coordonatele robertsoniene comobile). Prezenţa timpului t_0 în (110) arată că racordarea scării τ la scara t nu poate fi făcută decît local.

Substratum :

Distribuţia vitezelor în substratum :

$$f(u, v, w)\,\mathrm{d}u\,\mathrm{d}v\,\mathrm{d}w = \frac{B\,\mathrm{d}u\,\mathrm{d}v\,\mathrm{d}w}{c^2[1-(u^2+v^2+w^2)/c^2]^2}, \qquad (111)$$

unde B este o constantă arbitrară. Această formulă defineşte o distribuţie omogenă în scara t, cu alte cuvinte f este invariant la transformarea Lorentz.

Distribuţia particulelor-observatori în *substratum* :

$$N\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y\,\mathrm{d}z = \frac{Bt\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y\,\mathrm{d}z}{c^3\left(t^2-\dfrac{r^2}{c^2}\right)^2} \qquad (112)$$

cu aceleaşi remarci ca pentru formula (111).

b. DINAMICA ÎN SCARA t

Variabilele care intră în ecuaţiile dinamicii : în raport cu observatorul fundamental O, o particulă este definită cinematic prin elementele :

$$t,\ \overline{P},\ \text{vectorul de poziţie},\ \overline{V},\ \text{vectorul viteză} = \frac{\mathrm{d}\overline{P}}{\mathrm{d}t}.$$

În ecuaţii intervin combinaţiile scalare ale acestor elemente :

$$X = t^2 - \frac{\overline{P}^2}{c^2}, \qquad Y = 1 - \frac{\overline{V}^2}{c^2}, \qquad Z = t - \overline{P}\,\frac{\overline{V}}{c^2}, \qquad (113)$$

$$\xi = \frac{Z^2}{XY}.$$

ξ este un scalar adimensional şi invariant la transformarea Lorentz.

Ecuaţiile de mişcare pentru o particulă liberă iau forma:

$$\frac{\mathrm{d}\bar{V}}{\mathrm{d}t} = \frac{Y}{X}(\bar{P} - \bar{V}t)G(\xi), \tag{114}$$

unde G este o funcţie arbitrară de parametrul ξ.

Se presupune că în *substratum* trebuie luat:

$$G(\xi) \equiv -1. \tag{115}$$

Observăm că

$$\xi^{1/2} = \mathrm{const} \tag{116}$$

este o integrală a ecuaţiilor de mişcare.

Dacă m este o constantă caracteristică pentru o particulă,

$$M = m\xi^{1/2} \tag{117}$$

va defini masa sa inertă.

Dacă m_0 este o constantă caracteristică pentru o particulă *fundamentală*, atunci, în orice punct şi pentru orice observator, vom avea pentru orice particulă fundamentală:

$$M = m_0. \tag{118}$$

Particula de probă care trece prin origine la momentul t cu viteza $\bar{V}$ are masa:

$$M = \frac{m}{\left(1 - \frac{\bar{V}^2}{c^2}\right)^{1/2}}. \tag{119}$$

Pentru orice particulă fundamentală avem:

$$\xi^{1/2} = 1. \tag{120}$$

Pentru orice altă particulă:

$$\xi^{1/2} > 1. \tag{121}$$

Legea de mişcare pentru o particulă liberă poate fi scrisă şi sub forma variaţională :

$$\delta \int \frac{Y}{Z}\, \mathrm{d}t = 0. \tag{122}$$

Definind *forţa* şi *lucrul mecanic* prin analogie cu conceptele clasice, obţinem pentru *energia* particulei :

$$\Omega = mc^2 \xi^{1/2} = Mc^2. \tag{123}$$

Aceasta este chiar ecuaţia lui Einstein, însă, din motivele indicate în text, ea nu are acelaşi sens ca în relativitatea restrînsă.

Momentul cinetic faţă de origine al particulei situate în P :

$$\overline{H}(O) \equiv \overline{P} \wedge \overline{V}. \tag{124}$$

Dacă forţa care acţionează asupra particulei trece prin origine, acest moment are o variaţie cu timpul dată de formula (aproximativă) :

$$\overline{H}(O) = \overline{A}t,\ \overline{A} = \text{const.} \tag{125}$$

c. TRANSFORMĂRI DIN SCARA t ÎN SCARA τ

Reetalonarea timpului : conform relaţiei (107).

Formule aproximative (pentru $\overline{V}$ mic faţă de c) :

Legea de mişcare pentru particula liberă :

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\tau}\left(\frac{\mathrm{d}\overline{\pi}}{\mathrm{d}\tau}\right) = 0, \tag{126}$$

unde $\overline{\pi}$ este vectorul de poziţie în scara τ. Aceasta este expresia clasică a principiului inerţiei. Absenţa lui t_0 din (126) rezultă din faptul că această formulă nu este decît o aproximaţie.

Momentul cinetic, în cazul unei forţe care trece prin origine :

$$\overline{h}(0) = \overline{A}t_0, \quad \overline{A} = \text{const.} \tag{127}$$

Aceasta este teorema clasică ; t_0 figurează în (127) cu tot caracterul aproximativ al formulei.

d. SISTEME STATISTICE ȘI SUBSTRATUM-UL – DETERMINAREA LUI „G", GRAVITAȚIA (formule aproximative)

Ecuația lui Boltzmann generalizată :

$$\frac{\partial f}{\partial t}+\bar{V}\frac{\partial f}{\partial \bar{P}}+\bar{g}\frac{\partial f}{\partial \bar{V}}+f\left(\frac{\partial}{\partial \bar{V}}\bar{g}\right)=0, \tag{128}$$

$f(x, y, z; u, v, w)\, dx\, dy\, dz\, du\, dv\, dw$ fiind distribuția statistică în intervalul de timp de la t la $t+\Delta t$, în cîmpul de accelerație :

$$\bar{g}(\bar{P}, t, \bar{V}).$$

Condiția de invarianță în raport cu observatorii fundamentali duce la expresia :

$$f\equiv\frac{\Psi(\xi)}{c^6X^{3/2}Y^{5/2}}, \tag{129}$$

Ψ fiind o funcție arbitrară.

Substituind în ecuația lui Boltzmann această valoare pentru f și luînd pentru $\bar{g}$ valoarea obținută din ecuația de mișcare, se obține următoarea relație între ξ, $G(\xi)$ și $\Psi(\xi)$:

$$\frac{3/2}{\xi-1}-\frac{\Psi}{\Psi'}+\frac{G'}{1+G}=0, \tag{130}$$

adică

$$G(\xi)=-1-\frac{C}{(\xi-1)^{3/2}\Psi(\xi)}. \tag{131}$$

În continuare, presupunem că $|\bar{V}|$ și $|\bar{P}|$ sînt foarte mici în raport cu c și, respectiv, cu ct. Notăm cu S sfera :

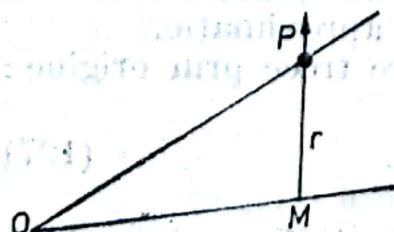


Fig. 3

— cu centrul în M, astfel încît $\overline{OM}=\bar{V}t$ (acesta este un punct din *substratum* care are aceeași viteză ca observatorul-particulă din P ; pentru acest observator el este centrul aparent al sistemului) ;

— de rază $r=\text{mod}\ \bar{r}$, unde $\bar{r}=\bar{P}-\bar{V}t$;

— de densitate egală cu cea a *substratum*-ului în O, la momentul t, adică după formula (112), egală cu $\frac{B}{c^3t^3}$;

Dacă se substituie (131) în ecuaţiile de mişcare (114), în cel de-al doilea membru se pot separa două părţi:

$$(\alpha) \qquad -\frac{Y}{X}(\bar{P}-\bar{V}t) \simeq \frac{-\bar{r}}{t^2}, \qquad (132)$$

$$(\beta) \qquad -\frac{Y}{X}\frac{C(\bar{P}-\bar{V}t)}{(\xi-1)^{3/2}\Psi(\xi)} \simeq C\frac{r}{r^3}\frac{c^3t}{\Psi(1)}. \qquad (133)$$

Or, (β) sugerează prin forma sa o acţiune gravitaţională a sferei S. (α) ar fi deci acţiunea gravitaţională asupra lui P a sferei S considerată ca o parte a *substratum*-ului, iar (β) acţiunea sferei S considerată ca centru al unui sistem statistic. Din (α) se obţine deci:

$$\frac{\gamma}{r^2}\frac{4\pi m_0 B r^3}{c^3t^3} = \frac{r}{t^2}, \qquad \gamma = \frac{c^3t}{M_0}, \qquad (134)$$

γ, „constanta" gravitaţiei, ar fi deci o funcţie de timp, crescînd proporţional cu timpul t. Cît despre (β), această relaţie ar exprima acţiunea unei condensări de masă $\frac{CM_0}{\Psi(1)}$.

X. Hoyle-Dirac-Jordan

a. HOYLE

Principiul comun tuturor încercărilor lui Hoyle în domeniul cosmologiei structurale este de a modifica ecuaţiile lui Einstein (III, 37), prin introducerea unui tensor suplimentar, astfel încît: *a.* ele să exprime generarea continuă de materie; *b.* să facă în aşa fel încît metrica lui de Sitter (VI, 64) să fie o soluţie a ecuaţiilor modificate. Ultima din aceste încercări (1960) se bazează pe introducerea unei ecuaţii covariante a *cîmpului generării*, legat cantitativ de existenţa materiei-energiei:

$$\Box\varphi = K\rho, \qquad \Box\varphi \equiv \nabla_\mu\nabla^\mu\varphi, \qquad (135)$$

$K = \text{const}$, φ scalar, funcție de punct,

unde
$$C_{\mu\nu} = \partial_\mu \partial_\nu \varphi - \Gamma^\lambda_{\mu\nu} \partial_\lambda \varphi,$$
$$\Box \varphi = C^\sigma_\sigma.$$

Ecuațiile lui Einstein modificate se obțin prin înlocuirea lui $T_{\mu\nu}$ în (III, 37) prin

$$T_{\mu\nu} + C_{\mu\nu}. \tag{136}$$

Pentru cazul uniformizat, *smoothed out*, avem, prin ipoteză, $\varphi = \varphi(t)$; o metrică robertsoniană (IV, 41) cu $k = 0$; un tensor $T_{\mu\nu}$ (III, 38) cu $p = 0$ și, în sfîrșit, $\Lambda = 0$ în (III, 37 și X, 136). În locul ecuațiilor lui Friedman (V, 57) se obțin atunci relațiile

$$2R\ddot{R} + \dot{R}^2 - \varkappa \dot{R} R \dot{\varphi} = 0, \tag{137}$$
$$\frac{3\dot{R}^2}{R^2} = \varkappa(\dot{\varphi} + c^2 \rho),$$

la care se adaugă, în virtutea ecuației (135), o a treia relație dinamică :

$$\frac{3\dot{\varphi}\dot{R}}{R} = Kc^2\rho - \ddot{\varphi}. \tag{138}$$

Dacă se impune condiția ca soluția să fie de tip staționar (VI, 64), ecuațiile (137) și (138) determină complet această soluție prin :

$$\rho = \frac{3H^2}{8\pi\gamma}, \quad K = 3c^2, \quad \Box\varphi = 3c^2\rho. \tag{139}$$

Examinarea stabilității soluției conduce la urmărirea evoluției temporale a unei mici variații ξ a constantei lui Hubble $H = \dfrac{\dot{R}}{R}$.

Punînd $\dfrac{\dot{R}}{R} = H_0(1 + \xi)$, se obține prin derivare și substituire în (137) și (138), o ecuație diferențială de ordinul al doilea în ξ, care, după integrare, dă :

$$\xi = A \exp\left(1 - \frac{9H_0 t}{4}\right) + B, \tag{140}$$

A și B fiind constante.

Primul termen se amortizează. Se ajunge deci la o creştere finită a constantei lui Hubble, fără alterarea formei metricii, deci a staţionarităţii.

b. DIRAC

Unităţile naturale de timp construite pornind de la constantele atomice (h, constanta lui Planck, e, sarcina electronului, m, masa electronului, M, masa protonului) sînt

$$\frac{e^2}{mc^3},\ \frac{e^2}{Mc^3},\ \frac{h}{mc^2},\ \frac{h}{Mc^2},\ \frac{h}{2\pi mc^2},\ \frac{h}{2\pi Mc^2}. \tag{141}$$

Ele se află unele faţă de altele în rapoartele :

$$1 \quad 0{,}0005 \quad 850 \quad 0{,}46 \quad 137 \quad 0{,}074. \tag{142}$$

Ele nu diferă deci decît prin puteri mici ale lui zece, iar prima diferă puţin de media lor geometrică ; dacă o alegem ca unitate, iar ca unitate de lungime luăm $\frac{e^2}{mc^2}$, atunci[1] :

$$\frac{1}{H_0} \simeq 5\cdot10^{39},\quad \alpha = 2{,}3\cdot10^{39},\quad \frac{1}{H_0} \simeq \alpha, \tag{143}$$

(α fiind raportul dintre interacţiunea electrică şi interacţiunea gravitaţională dintre proton şi electron).

Conform *principiului fundamental* al lui Dirac (vezi textul), $\frac{1}{H}$ şi α trebuie să fie crescătoare cu timpul cosmic, urmînd aceeaşi lege.

În virtutea principiului cosmologic, distanţa dintre două galaxii vecine poate fi considerată ca fiind funcţie numai de timpul cosmic, $L(t)$. Calculul aproximativ al deplasării spre roşu dă atunci

$$H_0 = \frac{\dot{L}_0}{L_0} = 0{,}2\cdot10^{-39}.$$

---

[1] Pentru H_0 am folosit valoarea dată de Sandage şi nu pe cea, de 7 ori mai mare, folosită de Dirac; dată fiind natura raţionamentelor lui Dirac, este evident că aceasta nu schimbă cu nimic deducţia sa.

Tot din principiul cosmologic reiese că $\rho = \rho(t) = \text{const} \cdot L^{-3}$, dacă masa se conservă. Dar, în unități atomice, $\rho_0 = 7 \cdot 10^{-45}$, de înmulțit cu un factor necunoscut, dar cel mult egal cu o putere mică a lui zece. Prin urmare, $\frac{1}{\rho}$ este un număr mare în sensul „principiului fundamental" și:

$$\rho = a \frac{\dot{L}}{L}, \quad a \simeq 1, \tag{144}$$

de unde, printr-o alegere convenabilă a originii timpului:

$$L = \text{const} \cdot t^{1/3}, \quad \frac{\dot{L}}{L} = \frac{1}{3t}, \quad t_0 = \frac{1}{3H_0} \simeq 10^{39}. \tag{145}$$

Conform principiului fundamental, curbura spațiului trebuie să fie nulă (vezi textul).

Realizarea legăturii cu relativitatea generalizată este posibilă dacă se face o schimbare de unități. Într-adevăr, în virtutea relației (143), „constanta" gravitației variază, în unități atomice, după legea $\varkappa = \text{const}/t$, cînd în relativitate ea este constantă. Aceasta impune, date fiind dimensiunile fizice ale lui $\varkappa$, schimbarea de scară

$$\delta t' = t \;\delta t, \quad t' = \frac{1}{2} t^2, \quad L'(t') = \text{const} \cdot t'^{2/3}. \tag{146}$$

(simbolurile cu semnul „prim" desemnînd mărimile măsurate în unități relativiste).

Dirac a admis însă principiul cosmologic. El a pus $k = 0$ în virtutea principiului său fundamental. Același principiu conduce în relativitate la condiția $\Lambda = 0$ (căci, dacă $\Lambda \neq 0$, $\frac{1}{\Lambda}$, un număr foarte mare, ar trebui să varieze cu t). În sfîrșit, din admiterea principiului cosmologic și a condiției $k = 0$, distanța medie dintre galaxii, L', este proporțională cu factorul robertsonian de expansiune R. Cu relația (146) se regăsește deci modelul Einstein-de Sitter (VI, 67).

c. JORDAN

Ne vom mărgini la cîteva indicaţii succinte cu privire la consecinţele cosmologice ale „relativităţii proiective". În această teorie, ecuaţiile lui Einstein sînt înlocuite prin altele în care $\varkappa$, constanta gravitaţiei $\left(=\frac{8\pi\gamma}{c^4}, \text{ ca în (III, 35)}\right)$, figurează ca o funcţie scalară de variabilele cîmpului.

Transpunînd în teoria sa ipotezele robertsoniene (cu $k = 1$), şi ipoteza fluidului cosmic perfect, Jordan încearcă să structureze spaţiu-timp-ul cosmic printr-o metrică de forma (IV, 40), cu $d\sigma^2$ avînd o curbură pozitivă constantă. Ipotezele fizice sînt deci

$$\rho = \rho(t)\,;\; p = p(t) = \alpha u(t)\,;\; \varkappa = \varkappa(t), \tag{147}$$

$$T_{00} = c^2\rho = u\,;\; T_{0j} = 0\,;\; T_{ij} = -p_{ij}\,;\; T^{\lambda}_{\lambda} = u - 3p.$$

Aceste ecuaţii dau

$$\frac{d}{dt}(\varkappa^2 u) + \frac{3\dot{R}}{R}\varkappa^2(u + p) = 0. \tag{148}$$

În cazul $\alpha = 0$, $p = 0$, această ecuaţie este satisfăcută dacă pe de o parte

$$R = ct,\quad H = \frac{\dot{R}}{R} = \frac{1}{t} \tag{149}$$

şi, pe de altă parte

$$\varkappa^2\rho = \frac{\text{const}}{t^3}$$

şi, în particular, dacă

$$\varkappa = \frac{\varkappa_0 t_0}{t}\,;\; \rho = \frac{\rho_0 t_0}{t}, \text{ de unde } \varkappa\rho t^2 = \text{const}. \tag{150}$$

Aceste relaţii exclud conservarea cantităţii de materie-energie, în sensul obişnuit, pentru că volumul variază ca t^3, iar densitatea ca $1/t$.

Or, după Jordan, relaţiile (149, 150) corespund în mod foarte satisfăcător celor care pot fi obţinute din observaţii, prin aplica-

rea principiului lui Dirac. Căci, dacă A este epoca cosmică actuală, *estimată în mod empiric* (vezi textul), atunci din observații se obține :

$$H_0 A \simeq 1 \, ; \quad \frac{R_0}{cA} \simeq 1 \, ; \quad \varkappa_0 \rho_0 c^4 A^2 \simeq 1. \tag{151}$$

Conform principiului lui Dirac, aceste relații ar trebui să se conserve în orice moment, ceea ce rezultă din (150) dacă $A = t_0$.

Dacă $M = 2\pi^2 R^3$ este cantitatea totală de masă-energie din univers, avem :

$$\varkappa c^2 M \simeq 2\pi^2 R,$$

de unde, înlocuind pe $\varkappa$ prin expresia sa obișnuită :

$$\frac{\gamma M^2}{R} \simeq Mc^2. \tag{152}$$

În partea stîngă apare potențialul gravitațional total al Universului, iar în partea dreaptă, energia sa de repaus. Energia totală a Universului este deci în orice moment nulă. Prin urmare, se poate spune, într-un anumit sens, că energia se conservă, cu toată generarea *ex nihilo* de „picături" de materie.

XI. Cîteva formule de astronomie și date numerice

(În tot acest capitol, prin simbolul log vom nota logaritmul zecimal.)

Astronomia caracterizează stelele din punct de vedere fizic prin strălucirea lor aparentă și prin culoarea lor (tipul lor spectral).

Scara de *magnitudini* care permite stabilirea strălucirilor aparente precizează și generalizează, prin extrapolare și interpolare, scara tradițională a *mărimilor* bazată pe deosebirea vizuală a stelelor. În virtutea legii psiho-fiziologice a lui Weber-Fechner, relația dintre *mărimile* percepute și energiile luminoase primite pe retină este logaritmică. Tocmai această relație definește magnitudinile astronomiei moderne.

Dacă L și L' sînt strălucirile aparente a două stele (energiile primite în tot domeniul spectrului vizibil), magnitudinile lor, m și m', sînt definite prin relația :

$$m' - m = 2{,}5 \log \left(\frac{L}{L'} \right) \quad \text{(legea lui Pogson).} \tag{153}$$



Se vede că magnitudinea este o funcţie *descrescătoare* de luminozitatea aparentă, originea scalei fiind definită în mod convenţional prin referire la un anumit ansamblu de stele. Stelele cele mai strălucitoare de pe cer au magnitudini negative.

Unităţi de lungime.

Unitatea astronomică de distanţă, pe care o notăm cu a, este o lungime convenţională care diferă foarte puţin de distanţă medie de la Pămînt la Soare; raportată la unităţile fizice, mărimea sa este

$$a = 149{,}5 \cdot 10^6 \text{ km*}. \quad (154)$$

Parsecul (paralaxă-secundă) este distanţa pînă la Pămînt a unui punct din care unitatea astronomică de distanţă se vede sub un unghi de 1″; avem deci:

$$1 \text{ pc} = \frac{a}{\sin 1''} = 206\,265\ a. \quad (155)$$

Anul-lumină este, evident, distanţa parcursă de lumină într-un an, în vid. Relaţia dintre parsec şi anul-lumină este:

$$1 \text{ pc} = 3{,}26 \text{ al}. \quad (156)$$

Relaţia magnitudine-distanţă.

Magnitudinea aparentă a unui astru depinde în acelaşi timp de luminozitatea sa intrinsecă şi de distanţa sa. Pentru a face ca luminozitatea intrinsecă să intre comod în calcule, ea este măsurată în mod convenţional prin *magnitudinea absolută* a astrului, definită astfel: presupunînd că spaţiul este euclidian şi perfect transparent, magnitudinea absolută M este magnitudinea pe care ar avea-o astrul dacă ar fi situat la 10 parseci de Pămînt. Între magnitudinea aparentă m, magnitudinea absolută M şi distanţa l a astrului avem relaţia:

$$\log l = 0{,}2(m - M) + 1. \quad (157)$$

Mărimea $(m - M)$ se numeşte „modul de distanţă” al stelei.

---

* Conform noului sistem de constante astronomice adoptat de Uniunea Astronomică Internaţională, $a = 149{,}6 \cdot 10^6$ km — *N.R.*

Formula (157) nu este valabilă şi pentru nebuloase îndepărtate. În cazul lor ea trebuie înlocuită printr-o expresie în care în primul membru figurează distanţa-luminozitate D (IV, 50), iar în al doilea membru, termeni corectivi conţinînd deplasarea spre roşu z (IV, 47).

Această formulă se scrie :

$$\log D = 0{,}2\ [m - (K_1 + W_1)z - M] + 1, \tag{158}$$

unde M reprezintă magnitudinea absolută a unei galaxii de referinţă tipice, determinată din observarea unor obiecte cosmice „apropiate". K_1 şi W_1 sînt constante ; termenul $K_1 z$ este destinat să înlăture consecinţele datorate decalajului întregii curbe de distribuţie a energiei în spectru, decalaj care face ca o parte din energia primită să iasă din cîmpul de observaţie. Termenul în W_1 exprimă, — destul de ipotetic — efectul, practic necunoscut, al unei variaţii a strălucirii intrinseci a galaxiilor în decursul unor intervale de timp de dimensiuni cosmologice.

Determinarea modelului cosmologic.

Eliminarea lui D între expresiile (IV, 51) şi (158) trebuie să permită, într-o primă aproximaţie, determinarea lui H_0 şi, într-o a doua, determinarea lui q_0. Relaţia (158) determină deci, prin intermediul relaţiei (IV, 48), funcţia $R(t)$ într-o aproximaţie de ordinul doi, în vecinătatea lui t.

Punînd $\sigma_0 = \dfrac{8\pi\gamma\rho_0}{H_0^2}$, ecuaţiile lui Friedman (V, 57) cu $p = 0$, se scriu, la $t = t_0$:

$$\Lambda = -(3q_0 - \sigma_0)H_0^2, \tag{159}$$

$$\frac{kc^2}{R_0^2} = -(q_0 + 1 - \sigma_0)H_0^2 .$$

1. Dacă luăm $\Lambda = 0$, atunci

$$\sigma_0 = 3\, q_0, \quad \frac{kc^2}{R_0^2} = 2\, q_0 - 1.$$

Sandage a propus $H_0 = 75$ km/sec/milion de parseci şi $q_0 = 0{,}2$; rezultă că spaţiul este hiperbolic (însă cu valoarea lui

Baum, $q_0 = 1$, necorectată de efectul evoluţiei galaxiilor, spaţiul ar fi închis).

Dacă $q_0 = 0{,}2$,

$$\rho_0 = \frac{3H_0^2 q_0}{8\pi\gamma} \simeq 10^{-29} g/cm^3,$$

valoare acceptabilă, aproximativ de o sută de ori mai mare decît valoarea empirică dată de Oort: ρ (Oort) $= 3 \cdot 10^{-31}$ g/cm³.

2. Dacă nu se face nici o ipoteză cu privire la Λ şi se pleacă direct de la valorile H_0, q_0 ale lui Sandage şi de la ρ (Oort), atunci

$$\sigma_0 = 0{,}014, \text{ de unde } 3q_0 - \sigma_0 \geqslant 0, \ \Lambda \leqslant 0,$$

$$q_0 + 1 - \sigma_0 > 0, \quad k = -1.$$

Spaţiul este în acest caz hiperbolic şi Universul este oscilant. Această dublă concluzie nu este alterată dacă ρ (Oort) este înmulţită cu zece; situaţia se schimbă însă dacă ρ (Oort) este de o sută de ori mai mare.

PARADOXUL LUI OLBERS

Se presupune Universul compus din aştri de luminozitate intrinsecă medie constantă, repartizaţi uniform într-un spaţiu euclidian, şi un observator situat într-un punct oarecare O. Radiaţia totală emisă de aştrii situaţi între două sfere avînd centrul O şi razele R şi $R + \mathrm{d}R$, în unitatea de timp, va fi, alegînd convenabil unităţile, $L = 4\pi R^2 \,\mathrm{d}R$. Dacă se presupune că spaţiul este transparent, radiaţia primită în O, provenind de la aceşti aştri va fi $\frac{L}{R^2} = 4\pi \,\mathrm{d}R$. Integrînd de la 0 la infinit, se vede că O ar trebui să primească din întreg Universul, în unitatea de timp, o cantitate infinită de radiaţie. De fapt această cantitate ar fi limitată de eclipsarea aştrilor unii de către alţii, dar, chiar dacă ţinem seama de această restricţie, concluzia raţionamentului este cu totul deosebită de ceea ce se observă efectiv, pentru că luminozitatea cerului nocturn este foarte slabă în raport cu cea a Soarelui, astru unic şi foarte apropiat.

Acest paradox a fost imaginat de Olbers în 1826. Raţionamentul se baza pe principiul cosmologic, care la acea dată era numai o ipoteză gratuită, dar pe care observaţia contemporană îl confirmă. Charlier a arătat că paradoxul Olbers ar putea fi eliminat dacă se imaginează o structură ierarhică a Universului. În faptele de observaţie nu există însă nici o dovadă în acest sens. În schimb, expansiunea izotropă rezolvă în mod natural paradoxul, radiaţia straturilor celor mai îndepărtate fiind absorbită de deplasarea spre roşu.

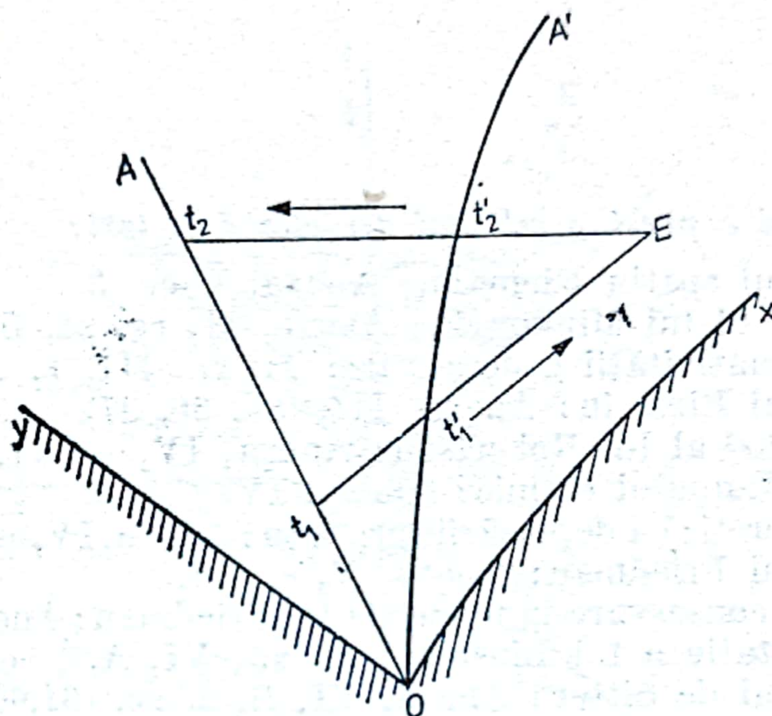


DIAGRAMA LUI ROBERTSON

O este punctul singular al lui Milne, de unde diverg toate traiectoriile (temporale) ale observatorilor fundamentali: OA, OA',... Spaţiu-timp-ul este reprezentat prin porţiunea din plan interioară unghiului format de traiectoriile luminoase Ox, Oy.

A determină punctul-eveniment E prin cele două numere t_1, plecarea semnalului spre E, şi t_2, momentul reîntoarcerii semnalului din E. Pe liniile t_1E (respectiv Et_2), traiectorii unice ale luminii unind A cu E, toate punctele sînt reperate prin acelaşi număr t_1 (respectiv t_2). Pe t_1E avem deci $dt_1 = 0$, iar pe Et_2, $dt_2 = 0$, sau, pe ansamblul celor două traiectorii, $dt_1\, dt_2 = 0$. În sistemul de coordonate pe care il va stabili A pentru reperarea spaţiu-timp-ul şi care va trebui să se transforme de la orice A la orice A' urmînd o lege de grup, aceasta va face ca pe întregul parcurs al luminii o anumită formă pătratică să rămînă nulă.

Formulele și expresiile cel mai des citate în text:

Metrica unui spațiu Riemann: Anexa, I, ec. 3.
Spațiu-timp-ul lui Minkowski: Anexa, II, ec, 28, fig. I
Axiomele relativității generalizaie: Anexa, III, 1, 2, 3.
Ecuațiile lui Einstein: Anexa, III, (35, 36, 37).
Elementul ds^2 al lui Robertson: Anexa, IV, ec. 41.
Postulatul timpului cosmic: Anexa, IV, *C*.
Formula teoretică a deplasării spre roșu: Anexa, IV, ec. (45, 46, 47).
Ecuațiile lui Friedman: Anexa, V, ec. 57.
Ecuația de conservare în modelele lui Friedman: Anexa, V, ec. 58.
Universul static a lui Einstein: Anexa, VI, A,2, ec. 61.
Universul lui de Sitter: Anexa, VI, B, 2, ec. (64,66).
Universul lui Einstein-de Sitter: Anexa, VI, C, 1, ec. 67, fig. III.
Universul lui Lemaitre-Eddington: Anexa, VI, C, 3, fig. V.
Universnl în rotație al lui Gödel: Anexa, VIII, ec. 78.

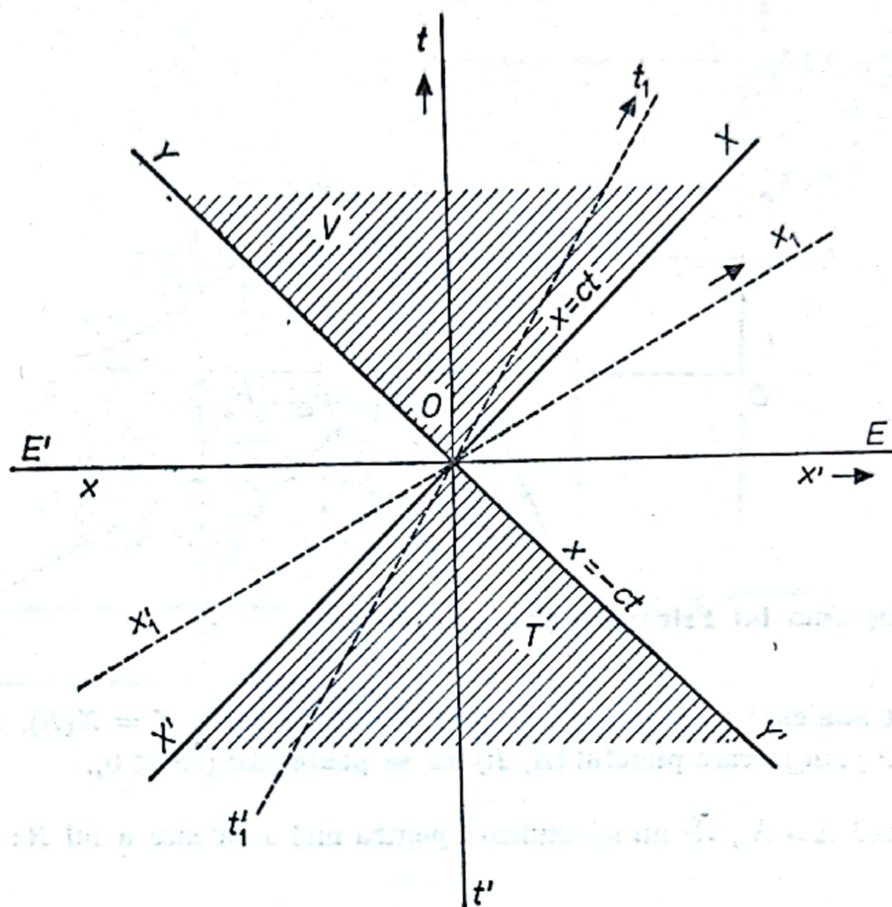


Fig. I. Diagrama lui Minkowski.

O: punct-eveniment-origine, arbitrar
Ox, Ot: axa spaţială şi axa temporală a unui reper galileian.
Ox_1, Ot_1: axa spaţială şi axa temporală a unui alt reper galileian.
$X'OX$, $Y'OY$: traiectoriile unor raze luminoase care trec prin O (s-a luat $c = 1$). Aceste drepte reprezintă intersecţia ,,conului nul'' cu planul (spaţio-temporal) al figurii. V este domeniul viitorului, iar T, domeniul trecutului. E, E' sînt domenii inaccesibile cauzal. Aceste drepte şi aceste domenii sînt independente de reperul ales.

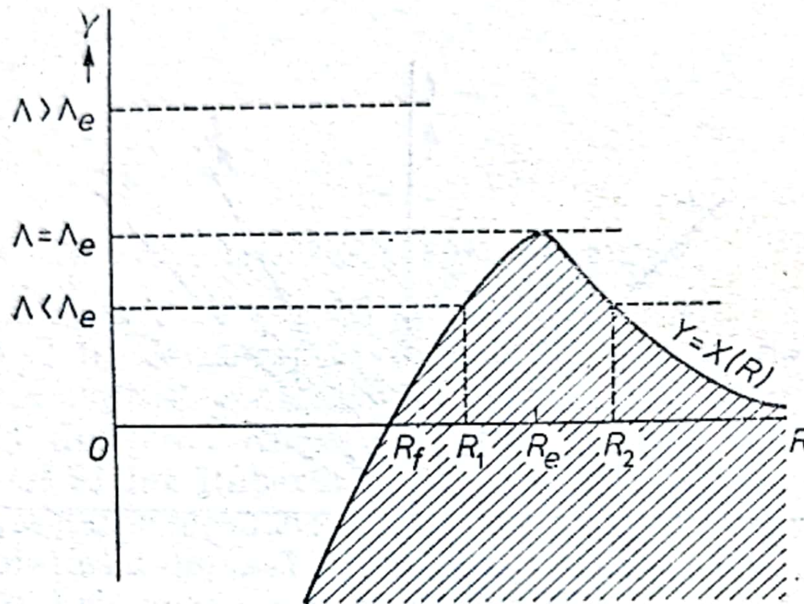


Fig. II. Diagrama lui Friedman ($k=+1$, $p=0$).

$\dot{R}^2$ se anulează la intersecția dreptei $Y = \Lambda$ cu curba $Y = X(R)$. S-a hașurat regiunea din plan în care punctul (Λ, R) nu se poate găsi ($\dot{R}^2 < 0$).

— Dacă $\Lambda > \Lambda_e$, $\dot{R}^2$ nu se anulează pentru nici o valoare a lui R: expansiune monotonă.

— Dacă $\Lambda = \Lambda_e$:
- $R = R_e$, modelul static al lui Einstein.
- R crescînd de la R_e (la $t = -\infty$) pînă la infinit, modelul lui Lemaître-Eddington.
- R crescînd de la 0 la R_e (la $t = +\infty$).

— Dacă $0 < \Lambda < \Lambda_e$:
- Oscilație de la 0 la R_1
- contracție de la ∞ la R_2, apoi expansiune de la R_2 la ∞.

— Dacă $\Lambda = 0$, oscilație de la 0 la R_f, modelul oscilant al lui Einstein-Friedman.

Diagrama lui Friedman arată că oscilația nu se poate produce între două valori finite ale lui R. Tolman a demonstrat că acest lucru este adevărat și pentru $p \neq 0$.

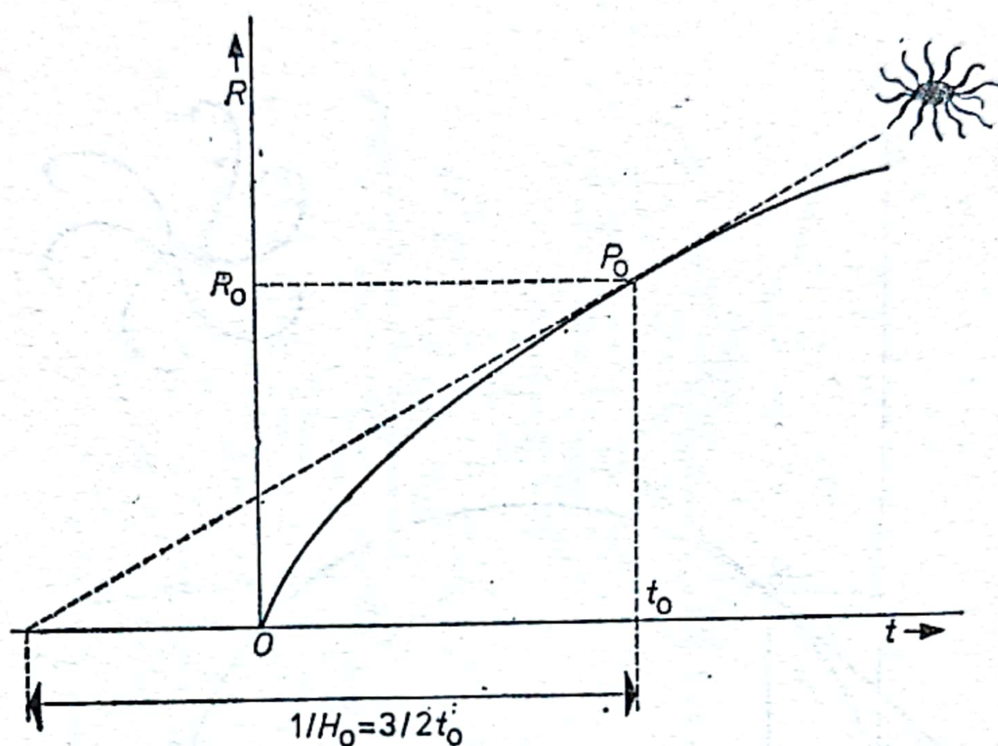


Fig. III. Modelul lui Einstein-de Sitter.

$k = 0$, spaţiul este euclidian, R nu este o „rază de curbură", t_0 este epoca actuală, în sistemul natural al timpului cosmic, dacă $\frac{1}{H_0} \simeq 13{,}5 \cdot 10^9$ ani, $t_0 \simeq 9$ miliarde de ani.

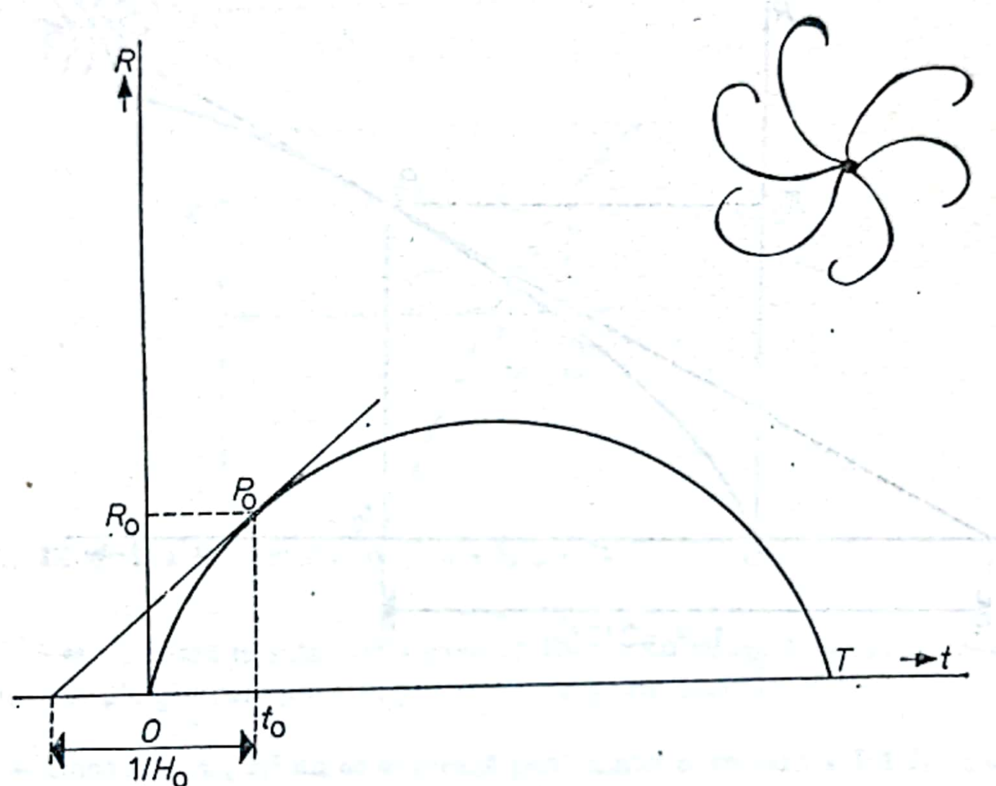


Fig. IV. Modelul oscilant închis al lui Friedman-Einstein.

$k = +1$, R este o rază de curbură.
O este o origine naturală a timpului cosmic. $t_0 < \frac{1}{H_0}$. Raportul dintre t_0 și $\frac{1}{H_0}$ depinde însă de poziția lui P_0, care este necunoscută.

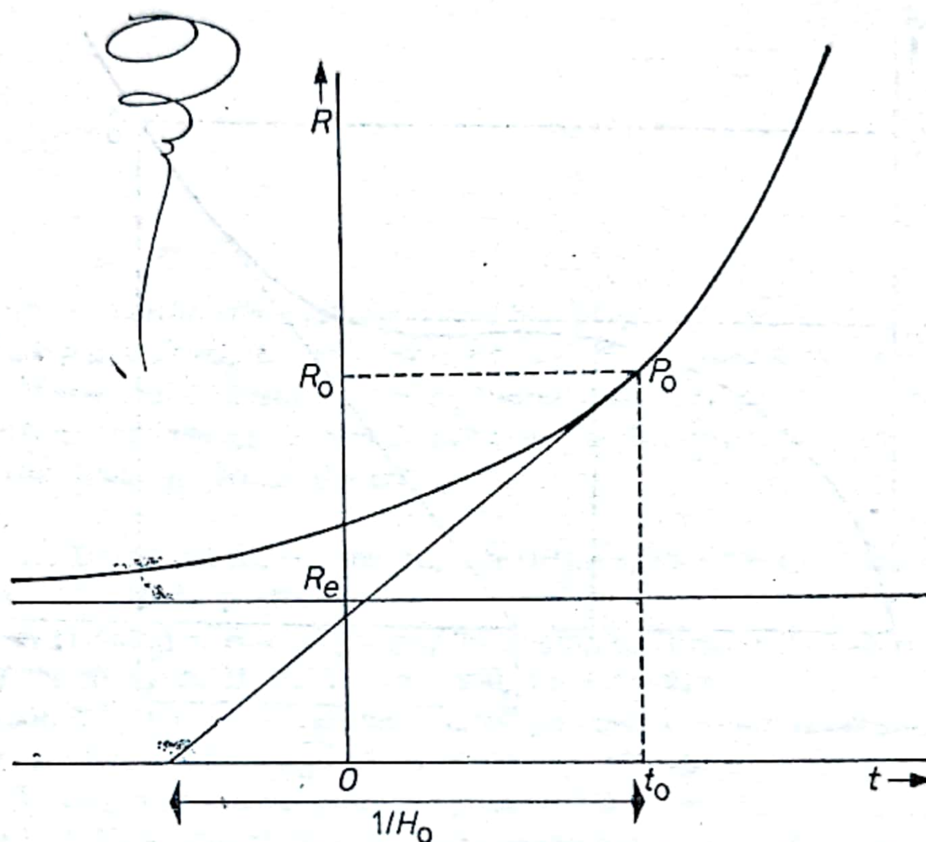


Fig. V. Modelul lui Lemaître-Eddington.

$k = +1$, R_e este raza de curbură a hipersferei lui Einstein—pe care R o atinge asimptotic cînd $t \to -\infty$.

Originea O a timpului cosmic este arbitrară, iar $\frac{1}{H_0}$ nu indică nici o „vîrstă".

Fig. VI. Modelul lui Lemaître.

$k = +1$. O este originea naturală a timpului cosmic, dar $t_0 > \frac{1}{H_0}$. Raporturile dintre OA, AB, t_0 au fost alese arbitrar.
OA este prima fază cosmogonică, corespunzînd exploziei „atomului primitiv".
AB este încetinirea expansiunii la traversarea pseudovalorii de echilibru R_e (raza de curbură a hipersferei lui Einstein), corespunzînd formării galaxiilor și a roiurilor de galaxii.
Bt_0 și în continuare — corespunde fazei actuale; sfîrșitul marilor procese cosmogonice.

LUCRĂRI CONSULTATE

Multe din memoriile citate fac parte din volume colective care sînt dedicate mai mult sau mai puțin direct, în ansamblul lor, subiectului nostru și care ne-au fost de folos în diverse ocazii. Aceste volume sînt menționate prin prescurtări, specificarea lor completă fiind făcută la sfîrșit. Sînt date de asemenea denumirile complete ale periodicelor care sînt citate de mai multe ori.

ALPHER, R. A., BETHE, H. A., GAMOW, G., *The Origin of the Chemical Elements*, P. R. (letters), 73, 1948, p. 803.

ALPHER, R. A., HERMANN, R. C., *Theory of the Origin and Relative Abundance Distribution of the Elements*, R. M. P., 22, 1950, pp. 153–212.

AMBARȚUMIAN, V. A., *Discurs introductiv la simpozionul Uniunii astronomice internaționale* (Roma, 1952), I.A.U. VIII, 1954, pp. 665–681.

Idem, On the Origin of Stars, P.N.A., pp. 293–300.

Idem, Stars of T Tauri and U. V. Ceti Type and the Phenomenon of Continuous Emission, Simpozion U.A.I. (Dublin, 1955), I.A.U., 1957, pp. 177–185.

Idem, La Méthode en Cosmogonie, în *Le Cosmos*, Recherches internationales, 14–15, 1959, pp. 22–41.

Idem, On the Evolution of Galaxies, S.E.U., pp. 241–279.

BAILEY, V. A., *The Steady State Universe and the Deduction of Continual Creation of Matter*, N., 184, 1959, pp. 537–538.

BAUM, O., 81, 1961, p. 114.

BERGSON, H., *Durée et simultanéité*, Paris, Felix Alcan, 1922.

BOISCHOT, A., *La Radio-Astronomie*, Paris, Masson, 1960.

BONDI, H., GOLD, T., *The Steady State Theory of the Expanding Universe*, M.N., 108, 1948, pp. 252–270.

Idem, Cosmology, Cambridge, 1952, ed. a II-a, 1960.

Idem, Physics and Cosmology, O., 82, 1962, pp. 133–143.

BRANS, C. DICKE, R. H., *Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation*, P.R., 124, 1961, pp. 925–935.

BURBIDGE, E. M., G. R., FOWLER, W. A., HOYLE, F., *Synthesis of the Elements in Stars*, R.M.P., 29, 1957, pp. 546–650.

CHANDRASEKHAR, S., WRIGHT, J. P., *The Geodesics in Gödel's Universe*, N.A.S., 48, 1961, pp. 341—347.

CHARLIER, C. V. L., *Wie eine unendliche Welt aufgebaut sein kann*, Arkiv för Math. Astr. och Fys. (Suedia), 4, 24, 1908.

Idem, *How an infinite World can be built up*, *ibid.*, 16, 22, 1922.

COSTA DE BEAUREGARD, O., *La Théorie de la Relativité restreinte*, Paris, Masson, 1949.

Idem, *Symétrie microscopique et dissymétrie macroscopique entre avenir et passé*, Revue de synthése, 1957.

Idem, *De l'irréversibilité du temps physique*, S.N., pp. 199—227.

Idem, *Le Second Principe de la science du temps*, Paris, Seuil, 1963.

COUDERC, P., *Discussion sur l'évolution de l'Univers*, Paris, Gauthier-Villars, 1933.

Idem, *L'Expansion de l'Univers*, Paris, P.U.F., 1950.

Idem, *L'Univers*, Paris, P.U.F., 1955.

Idem, *Des plus grandes distances aux plus grandes durées*, As., 76, 1962, p. 329.

DAUVILLIER, A., *Cosmologie et Chimie*, Paris, P.U.F., 1955.

DAVIDSON, W., *The Cosmological Implications of the Recent Counts of Radiosources*, I, M.N., 123, 1962, pp. 425—435; II, *ibid.*, 124, 1962, pp. 79—92.

DICKE, R. H., *Implications for Cosmology of Stellar and Galactic Evolution Rates*, R.M.P., 34, 1, 1962, pp. 110—122.

DINGLE, H., *Modern Aristotelianism*, N., 139, 1937, p. 784.

Idem, *The Function of Time Measurement in Modern Physics*, Symposium de philosophie des sciences (Bruxelles, 1947), Paris, Hermann.

DIRAC, P. A. M., *The Cosmological Constants*, N., 139, 1937, p. 223.

Idem, *A New Basis for Cosmology*, R.S.L., 165 A, 1938, pp. 199—208.

EDDINGTON, A. S., *Espace, Temps, Gravitation*, trad. Rossignol, Paris, Hermann, 1921.

Idem, *Mathematical Theory of Relativity*, Cambridge, 1923, ed. a V-a, 1954.

Idem, *The Nature of Physical World*, Cambridge, 1929.

Idem, *On the Instability of Einstein's Spherical World*, M.N., 90, 1930, pp. 668—678.

Idem, *Fundamental Theory*, Cambridge, 1948, ed. a III-a, 1953.

EINSTEIN, A., *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeine Relativitätstheorie*, in Sitzungsberichte der königlichen preussischen Akademie der Wissenschaften, VI, 1917, pp. 142—152.

Idem, *Kritisches zu einer von Herrn de Sitter gegebenen Lösung der Gravitationsgleichungen*, *ibid.*, 1918, pp. 270—272.

Idem, *Bemerkung zu der Arbeit von A. Friedman « Ueber die Krümmung des Raumes »*, Z.P., 11, 1922, p. 326.

Idem, *Notiz zu der Arbeit von A. Friedman « Ueber die Krümmung des Raumes »*, *ibid.*, 16, 1922, p. 228.

Idem, *Zum kosmologischen Problem der allgemeine Relativitätstheorie*, in Sitzungsberichte der preussischen Akademie der Wissenschaften, 1931, pp. 235—237.

EINSTEIN, A., DE SITTER, W., *On the Relation Between the Expansion and the Mean Density of the Universe*, N.A.S., 18, 1932, pp. 213—214.

EINSTEIN, A., STRAUSS, A., *The influence of the expansion of space on the gravitational fields surrounding the individual stars*, R.M.P., 17, 1945, pp. 120—4.
EINSTEIN, A., *Autobiographisches*, E.P.S., pp. 1—95.
Idem, *Reply to Criticism*, pp. 663—668.
EINSTEIN, A., *On the Cosmological Problem*, anexă la a II-a ediție a cărții *The Meaning of Relativity*, Princeton, U.P., 1945, ed. a V-a, 1956.
EINSTEIN, A., INFELD, L., *L'Évolution des idées en Physique*, trad. Solovine, Paris, Flammarion, 1938.
FRIEDMAN, A., *Ueber die Krümmung des Raumes*, Z.P., 10, 1922, p. 377.
Idem, *Ueber die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes*, Z.P., 21, 1924, p. 326.
GAMOW, G., TELLER, E., *On the Origin of Great Nebulae*, P.R., 55, 1939, p. 654.
GAMOW, G., *On Relativistic Cosmology*, R.M.P., 21, 1949, pp. 367—373.
Idem, *On the Formation of Protogalaxiesin the Turbulent Primordial Gas*, N.A.S., 40, 1949, pp. 480—484.
Idem, *La Création de l'Univers*, trad. Guéron, Paris, Dunod, 1956.
Idem, vezi ALPHER, R. A.
GÖDEL, K., *A Remark About the Relationship Between Relativity Theory and Idealistic Philosophy*, E.S.P., pp. 555—562.
Idem, *An Example of a New Type of Cosmological Solution of Einstein's Field Equations of Gravitation*, R.M.P., 21, 1949, pp. 447—450.
Idem, *Rotating Universes in General Relativity Theory*, Proc. Intern. Cong. Mathematicians, 1950, I, pp. 175—185.
GOLD, T., *The Arrow of Time*, S.E.U., pp. 81—95.
Idem, vezi BONDI, H.
GREENSTEIN, J. L., *Stellar Evolution and the Origin of Chemical Elements*, American Scientist, 49, 1961, pp. 449—473.
HAKAYAMA, S., TANAKA, H., *Cosmological Implications of Physical Constants*, Progress of theoretical physics (Japonia), 25, 1961, pp. 858—860.
HANBURY BROWN, R., *Clustering, Cosmology and Sources Counts*, M.N., 124, 1962, pp. 35—48.
HARWIT, M., *Can Gravitational Forces Alone Account for Galaxy Formation in a Steady State Universe*, M.N., 122, 1961, pp. 47—50.
HECKMANN, O., SCHÜCKING, E., *Newtonsche und Einsteinsche Kosmologie*, H.P., pp. 489—519.
HECKMANN, O., *On the Possible Influence of a General Rotation on the Expansion of the Universe*, Ap. J., 66, 1961, pp. 599—603.
Idem, vezi Schücking, E.
HEISENBERG, W., *Physique et Philosophie*, trad. Jacqueline Hadamard, Paris, Albin Michel, 1961.
HILL, E. L., Recenzia cărții *Kinematic Relativity* a lui E. A. Milne, Ap. J., 110, 1949, pp. 99—101.

III, *Ibid.*, pp. 257—271.

Idem, The Theoretical Aspects of the Nebular Red-Shift, Publ. of the Astr. Soc. of the Pacific, 67, 1955, p. 82.

ROBINET, A., *La Correspondance Leibniz-Clarke*, Paris, P.U.F., 1957.

ROBINSON, B. B., *Relativistic Universes With Shear*, N.A.S., 47, 1961, pp. 1852—7.

RYLE, M., CLARKE, R. W., *An Examination of the S.S. Model in the Light of Some Recent Observations of Radio-Sources*, M.N., 122, 1962, pp. 349—361.

SANDAGE, A., *The Ability of the 200-inches Telescope to Discriminate Between Selected World-Models*, Ap. J., 133, 1961, pp. 355—391.

Idem, The Light Travel Time and the Evolutionary Correction of Magnitude of Distant Galaxies, Ap. J., 134, 1961, pp. 916—926.

SHANE, C. D., WIRTANEN, C. A., *The Distribution of Extra-Galactic Nebulae*, An. J., 59, 1954, pp. 285—304.

SCHATZMAN, E., PECKER, J. C., *Astrophysique générale*, Paris, Masson, 1959.

Idem, Origine et évolution des mondes, Paris, Albin Michel, 1957.

Idem, Problèmes cosmologiques, S.N., pp. 185—198.

SCHÜCKING, E., HECKMANN, O., *World-Models*, S.E.U., pp. 149—159.

SCHWARZSCHILD, M., *Stellar Evolution*, I.A.U., 11B, 1961, pp. 137—143.

SCIAMA, D. W., *On the Origin of Inertia*, M.N., 113, 1953, pp. 34—42.

Idem, The Unity of the Universe, London, Faber, 1959.

Idem, Les trois lois de la Cosmologie, trad. Bouche, I.H.P., 17, 1961, pp. 15—24.

Idem, L'Observation et la Cosmologie, I.H.P., 17, 1961, pp. 25—36.

ȘIROKOV, M. F., FISHER, I. Z., *Isotropic Space with Discrete Gravitational Field-Sources*, trad. engleză, Soviet Astronomy (U.S.A.), 6, 1963, pp. 699—705.

DE SITTER, W., *On the Relativity of Inertia*, K.A.W., 19, 1917, pp. 1217—25.

Idem, vezi EINSTEIN, A.

TELLER, E., *On the Change of Physical Constants*, P.R., 73, 1948, p. 801.

Idem, vezi GAMOW, G.

TOLMAN, R. C., *On de Sitter's Universe*, Ap. J., 69, 1929, pp. 145—174.

Idem, Relativity, Thermodynamics and Cosmology, Oxford, 1934, ed. a III-a, 1958.

Idem, The Age of the Universe, R.M.P., 21, 1949, pp. 374—378.

TONNELAT, M. A., *Les Principes de la théorie électromagnétique et de la Relativité*, Paris, Masson, 1958.

Idem, Les Récentes Expériences sur le décalage vers le rouge, en tant que preuves de la Relativité générale, I.H.P., 17, 1961, pp. 59—89.

TONNELAT, M. A., MAVRIDÈS, S., *Relativité générale et théories cosmologiques*, A., pp. 1306—68.

WALKER, A. G., *On Milne's Theory of World-Structure*, Proc. London Math. Soc., 42, 1936, pp. 90—127.

Idem, Kinematic Relativity : a Discussion, O., 64, 1941—2, p. 20.

WEYL, H., *Zur allgemeine Relativitätstheorie*, P.Z., 24, 1923, p. 230.

Idem, Red-Shift and Relativistic Cosmology, Phil. Mag. 9, 1930, p. 936.

K.A.W. *Proceedings of the Koninklijke Akademie van Wetenschappen* (Pays-Bas).
I.H.P. *Annales de l'Institut Henri Poincaré.*
M.N. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (Anglia).
N. *Nature* (Anglia).
N.A.S. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (S.U.A.).
O. *The Observatory* (Anglia).
P.R. *Physical Review* (S.U.A.).
P.Z. *Physikalische Zeitschrift* (Germania).
R.M.P. *Reviews of Modern Physics* (S.U.A.).
R.S.L. *Proceedings of the Royal Society of London.*
Z.P. *Zeitschrift für Physik* (Germania).

Autorul își exprimă adînca sa recunoștință, pentru sugestiile și criticile aduse, față de dra. Mavridès, cercetătoare la Centrul Național de Cercetări Științifice, dl. G. J. Whitrow, profesor de matematică la Universitatea din Londra și dl. Paul Couderc, astronom titular la Observatorul din Paris, care au avut amabilitatea să citească în manuscris respectiv Anexa, capitolele referitoare la cosmologia deductivă și cele care se ocupă de observația astronomică.

De asemenea, ține să mulțumească d-nei Jean Merleau-Ponty, care i-a dat concursul la transcrierea manuscrisului — și fiicei sale Claire, care a desenat toate graficele.

COSMOLOGIA INVARIANTIVĂ*

Această cosmologie constituie acea parte din mecanica invariantivă, elaborată de academicianul Octav Onicescu**, care se referă la mişcarea galaxiilor considerate ca unităţi materiale ale Universului.

Localizarea galaxiilor este realizată în Universul newtonian $E_3 \times E_1$, produs cartezian dintre spaţiul euclidian E_3 şi timpul E_1, sistemele de referinţă fiind sistemele inerţiale newtoniene. Starea dinamică a fiecărei galaxii, considerată ca punct izolat, este definită de perechile $(\mathbf{r}, t)$ (poziţie, moment) şi $(\mathbf{p}, H)$ (impuls, energie). Ipoteza care se face constă în considerarea funcţiei de stare sau energiei H drept un invariant euclidian, adică $H = H\left(\frac{1}{2}\mathbf{p}^2\right)$.

Principiul dinamic al mişcării inerţiale afirmă că derivata exterioară, în sens Cartan, a sistemului $(\mathbf{p}, H)$ este nulă. Rezultă de aici că $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$, $m = m_0/\sqrt{1 - v^2/c^2}$, $H = mc^2$, unde $\mathbf{v}$ este viteza, m_0 masa de repaus, iar c viteza luminii în vid.

Starea unui sistem format din două galaxii este dată la orice moment prin poziţiile $\mathbf{r}_1$, $\mathbf{r}_2$, impulsurile $\mathbf{p}_1$, $\mathbf{p}_2$ şi energia H. Se cere ca energia să fie, ca şi în cazul punctului izolat, un invariant euclidian al sistemului, adică $H = H(\alpha_1, \alpha_2, \alpha, \beta_1, \beta_2, \beta)$, unde $\alpha_1 = \frac{1}{2}\mathbf{p}_1^2$, $\alpha_2 = \frac{1}{2}\mathbf{p}_2^2$, $\alpha = \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2$; $\beta_1 = \mathbf{r} \cdot \mathbf{p}_1$, $\beta_2 = \mathbf{r} \cdot \mathbf{p}_2$, $\beta = \frac{1}{2}\mathbf{r}^2$, iar $\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$.

---

* În această notă, alcătuită de dr. Ieronim Mihăilă, conferenţiar la Universitatea din Bucureşti, sînt prezentate aspectele esenţiale ale cosmologiei elaborate de acad. Octav Onicescu pe baza mecanicii sale invariantive — *N.R.*

** Vezi *Mecanica invariantivă şi cosmologia*, Ed. Academiei R.S.R., 1974; *Invariantive Mechanics*, Springer Verlag, 1975.

Dacă se aplică același principiu de anulare a derivatei exterioare (în sens Cartan) a sistemului ($\mathbf{p}_1$, $\mathbf{p}_2$, H), obținem expresiile celor două impulsuri

$$\mathbf{p}_1 = m_1\mathbf{v}_1 + \mu\mathbf{v}_2 + h_1\nu\mathbf{r}, \quad \mathbf{p}_2 = m_2\mathbf{v}_2 + \mu\mathbf{v}_1 + h_2\nu\mathbf{r},$$

unde μ este masa de interacțiune gravitațională, iar ν masa de interacțiune repulsivă, ecuațiile mișcării fiind

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{p}_1}{\mathrm{d}t} = \mathbf{L}, \quad \frac{\mathrm{d}\mathbf{p}_2}{\mathrm{d}t} = -\mathbf{L}, \quad \frac{\mathrm{d}H}{\mathrm{d}t} = 0,$$

unde

$$\mathbf{L} = H_{\beta 1}\mathbf{p}_1 + H_{\beta 2}\mathbf{p}_2 + H_{\beta}\mathbf{r},$$

$$H = c^2(m_1 + m_2 + 2\mu + 2\nu).$$

Din aceste ecuații se deduce existența simultană a unei interacțiuni gravitaționale de formă $\frac{f m_1^0 m_2^0}{r^2}\sqrt{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}}\left\{1 + \frac{\lambda(r)}{c^2}\right\}$ și a unei interacțiuni de repulsie de forma $g_{12}\,\frac{r}{c^2\sqrt{1-u}}$.

Termenul $\lambda(r)/c^2$ a fost introdus și determinat cu ajutorul avansului periheliilor planetelor, avans neexplicat prin mecanica newtoniană (I. Mihăilă, *Le mouvement du périhélie et la Mécanique invariantive*, C.R. Acad. Sc. Paris, t. 280, série A, 595—598, 1975).

Din ecuațiile date rezultă că impulsul total este constant,

$$\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = \text{const}.$$

Din această teoremă, dacă se înlocuiesc $\mathbf{p}_1$ și $\mathbf{p}_2$ prin expresiile lor de mai sus, se obține prin derivare următoarea egalitate

$$w = v_2 \cos(\mathbf{v}_2, \mathbf{r}) - v_1 \cos(\mathbf{v}_1, \mathbf{r}) = \frac{1}{2}\frac{\dot N}{N}\,\frac{1 + \dfrac{c^2}{r^3}\dfrac{\dot M}{\dot N}}{1 - \dfrac{c^2}{2r^3}\dfrac{M}{N}}\, r,$$

unde M și N nu depind de r, ci numai de celelalte elemente ale corpurilor în mișcare. Calculele arată că M/N și $\dot M/\dot N$ sînt limitate,

în special dacă accelerațiile care intră în $\dot{M}$ și $\dot{N}$ nu sînt excesive. În acest caz este evident că pentru c^2/r^3 suficient de mic putem scrie

$$w \sim \frac{1}{2}\frac{\dot{N}}{N} r,$$

relație ce corespunde legii lui Hubble. De aici rezultă că legea cinematică empirică a lui Hubble corespunde unei teoreme a mecanicii invariantive. Rămîne însă să se studieze mai îndeaproape legătura dintre constanta lui Hubble și coeficientul lui r din relația obținută.

Autorul arată în continuare că legea de mai sus are loc și pentru orice sistem izolat de galaxii, și anume considerînd două galaxii pentru care c^2/r^3 este o cantitate neglijabilă. În formula respectivă intră toate elementele sistemului, distanța r dintre cele două galaxii apărînd sub formă de factor. M și N păstrează o valoare sensibil neschimbată cînd se trece de la o pereche de galaxii la alta. Raportul $\dot{N}/N$ este deci o constantă, fapt care corespunde și cu determinările observaționale. Nu se exclude o eventuală variație foarte lentă a raportului $\dot{N}/N$ în condiții care ar putea fi cunoscute pe cale observațională.

În concluzie, cosmologia invariantivă conduce la următoarele două rezultate importante:

1. Existența în același timp cu interacțiunea gravitațională a unei interacțiuni de repulsie de tipul unei forțe elastice.

2. Evidențierea caracterului dinamic al legii lui Hubble, care apare ca o teoremă a mecanicii invariantive.

IERONIM MIHĂILĂ

Postfață

Cartea lui J. Merleau-Ponty, *Cosmologia secolului XX*, reprezintă o vastă monografie asupra statutului epistemologic al unei discipline unice prin caracterul ei, cosmologia contemporană. Intenţia fundamentală a autorului este aceea de a stabili, pe baza unui studiu logic, matematic şi istoric al tuturor teoriilor apărute pînă la mijlocul secolului nostru, profilul epistemologic şi metodologic al acestei ştiinţe, sub forma pe care a luat-o ea după teoria einsteiniană a relativităţii generalizate.

Cosmologia s-a aflat în aproape toate momentele de adînci transformări metodologice ale ştiinţei în centrul controverselor provocate de acestea. Nu puţine sînt istoriile conceptuale ale ştiinţei, ale evoluţiei modelelor fundamentale ale cunoaşterii ştiinţifice care urmăresc în esenţă modificările suferite de-a lungul timpului de principiul antic al „astronomiei formale": ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ („a salva fenomenele"). Geneza ideii greceşti de Cosmos, care a reprezentat momentul principal al trecerii de la mentalitatea arhaică la cea clasică, teoriile despre Univers ale grecilor (Anaximandru, Eudox, Aristotel, Ptolemeu), sistemul lui Copernic, distrucţia progresivă a ideii de cosmos şi înlocuirea ei cu ideea unui Univers deschis şi infinit în cadrul revoluţiei moderne din ştiinţele naturii, constituirea unei cosmologii pe baza fizicii newtoniene, reconstrucţia actuală a ideii de univers plecînd de la teoria relativităţii a lui Einstein, toate aceste momente ale evoluţiei gîndirii cosmologice au influenţat profund mentalitatea ştiinţifică generală, modul în care au fost înţelese obiectivele şi statutul disciplinelor ştiinţifice. Şi astăzi, marile confruntări din filozofia ştiinţei se inspiră profund din gîndirea cosmologică şi-i determină la rîndul lor fizionomia. Încercînd să ofere un nou ideal al ştiinţei, pe baza analizei devenirii şi istoriei ei reale, ideal eliberat de restricţiile pozitivismului logic, filozofii ştiinţei orientaţi istoric, reprezentanţii „Noii filozofii a ştiinţei" (N. R. Hanson,

Th. S. Kuhn, P. K. Feyerabend, St. Toulmin) apelează în special la studii de caz din istoria — veche — a cosmologiei. În acest fel se şi explică numărul mare de monografii dedicate în ultima vreme lui Copernic şi Galilei.

Devenit teren preferenţiat al înfruntării teoriilor filozofice moderne asupra cunoaşterii, sursă de cazuri istorice pentru reconstrucţia critică a ştiinţei, cosmologia nu a constituit însă, ca ramură specială a cunoaşterii actuale, obiectul unei analize epistemologice constructive. Lucrarea lui J. Merleau-Ponty răspunde tocmai acestei necesităţi. O asemenea cercetare asupra statutului şi a istoriei recente a cosmologiei poate avea valoare nu numai pentru ridicarea unei ramuri a ştiinţei la nivelul conştiinţei ei critice, dar şi pentru constituirea unei epistemologii sintetice, a unei viziuni sistematice asupra cunoaşterii ştiinţifice în general, capabile să integreze metodologic pluralitatea de experienţe şi perspective din ştiinţa contemporană. Ea serveşte astfel atît ca o sinteză conceptual-metodologică a principalelor rezultate dintr-o disciplină particulară, cosmologia, cît şi ca un „studiu de caz", un punct de plecare indispensabil pentru teoria generală a cunoaşterii ştiinţifice.

Cosmologia contemporană furnizează astfel un cadru excelent pentru studiile epistemologice. Prin natura specială a obiectului său şi prin marea varietate de abordări metodologice, cosmologia a devenit un „teren experimental" al tuturor epistemologiilor moderne. Trăsătura sa metodologică dominantă, şi anume subdeterminarea empirică a teoriilor, antrenează, în procesul întemeierii ipotezelor, mai mult decît în oricare alt domeniu al cunoaşterii, intervenţia explicită a ideilor epistemologice, a criteriilor analitice, neempirice (logice, metodologice şi filozofice) de justificare, selecţie şi acceptare a teoriilor. Tocmai de aceea întîlnim în cosmologia contemporană prelungiri ale tuturor marilor varietăţi ale epistemologiei. S-au constituit aici atît perspective empiriste şi inductiviste, cît şi puncte de vedere deductiviste şi constructiviste, atît abordări realiste, cît şi instrumentaliste. Cu atît mai mult este necesar un studiu de sinteză asupra acestui domeniu.

J. Merleau-Ponty întreprinde o sistematizare — după criterii epistemologice — a tuturor studiilor fundamentale de cosmologie apărute în ultimele decenii, o tipologizare metodologică a teoriilor şi ipotezelor cosmologice aptă să orienteze analiza critică a perspectivelor constituite pînă acum în rezolvarea problemei cosmologice. Lucrarea sa se distinge prin consecvenţa şi rigoarea cu care îşi urmăreşte ţelul propus: determinarea profilului metodologic al cosmologiei actuale. Această intenţie majoră se realizează prin

analiza logico-conceptuală și istorică a principalelor ipoteze, concepte și principii ale cosmologiei contemporane. Argumentele și analizele de ordin matematic, fizic, sau filozofic converg în această direcție, servesc acestui program epistemologic și nu se detașează ca cercetări autonome.

Stabilirea statutului epistemologic a unei întregi discipline științifice, o disciplină extrem de complexă, aflată la limita sau la punctul de intersecție al fizicii cu matematica și filozofia naturii, care presupune unificarea rezultatelor tuturor teoriilor fundamentale ale fizicii, constituie, evident, o sarcină extrem de dificilă. Poziția de excepție a cosmologiei în rîndul științelor determină un statut cu totul deosebit al teoriilor, ipotezelor și legilor pe care ea le formulează, al raportului dintre construcția teoretică și întemeierea experimentală, a naturii și valorii metodelor ei. Stabilirea specificului acestei discipline presupune astfel stabilirea specificului obiectului ei, al modului de constituire a ipotezelor și al condițiilor confruntării lor cu datele observației. În mare măsură acesta este planul urmărit de autor în cartea sa. Prima parte a lucrării este consacrată genezei bazei observaționale a noii cosmologii, analizei evoluției astronomiei moderne între 1920 și 1930 care a pregătit în linii mari „decorul gîndirii cosmologice" pentru următoarele decenii. În esență, în această secțiune se determină specificul obiectului noii cosmologii, constituirea noii idei de univers în astrofizica contemporană. Partea centrală a lucrării cercetează critic marile direcții în care s-au constituit modelele de univers actuale (cosmologia relativistă, cosmologia deductivă, încercările de sinteză și unele modele „exotice"), cu intenția dezvăluirii surselor și a statutului ipotezelor formulate. Cum problema cosmologică — problema structurii spațio-temporale a Universului fizic — nu se poate decide în epoca contemporană fără a se lua în discuție aspectul genetic, devenirea acestei structuri, analiza lui J. Merleau-Ponty se angajează în mod natural în studiul temelor dominante și al teoriilor cosmogoniei actuale. În secțiunea finală a lucrării se analizează problema metodologică a confruntării ipotezelor cosmologice cu observația, problemă fundamentală pentru înțelegerea specificului teoriilor și ipotezelor cosmologiei. Pe această bază se pot degaja unele concluzii mai generale privind locul cosmologiei în gîndirea științifică a secolului nostru, implicațiile ei gnoseologice (contribuția ei la determinarea mai complexă a metodei științei) și ontologice (reconstrucția ideilor de spațiu, timp, materie, infinit etc.).

Constituirea cosmologiei actuale a fost pregătită în primul rînd de noile descoperiri astronomice, de extinderea cîmpului

obiectelor și faptelor observate și, în același timp, de marile transformări produse în domeniul fizicii și al matematicii, transformări care au permis — împreună — reconstrucția ideii de obiect al acestei discipline, Universul fizic în totalitatea sa. Teoria relativității restrînse, abandonînd ideile newtoniene asupra caracterului absolut al spațiului și timpului, începe, virtual, revoluția cosmologică. Dar spațiu-timp-ul lui Minkowski rămîne încă o formă geometrică independentă de conținutul material al Universului. Pasul hotărîtor în constituirea noii cosmologii îl reprezintă teoria relativității generalizate. Prin ea se unifică profund descrierea matematică cu cea cauzală a lumii, cadrul spațio-temporal cu conținutul material al Universului, deschizîndu-se calea considerării Universului fizic nu ca un obiect indeterminat, situat într-un cadru definit apriori, ci ca o structură spațio-temporală avînd proprietăți ce nu se pot cunoaște decît prin cunoașterea conținutului ei material, distribuția materiei pe care o structurează. Teoria relativității generalizate oferă bazele unificării într-un tot fizico-geometric a Universului, a înțelegerii lui ca o structură perfect definită, care permite asocierea într-o aceeași descriere a conținutului și formei (cadrului) prin relații necesare. Toate aceste progrese ale teoriei fizice se întemeiază pe noile dezvoltări ale conceptelor matematice ale spațiului și infinitului, în special pe generalizările și distincțiile introduse de B. Riemann între infinitate ca proprietate metrică a spațiului, ținînd de relațiile lui interne, și nemărginire, ca proprietate exterioară a lui.

Einstein a construit în 1917 primul model de univers plecînd de la teoria generală a relativității. El constituie prima reprezentare coerentă asupra Universului care nu mai vine în contradicție formală cu principiile și legile bine întemeiate ale fizicii. Conform punctului lui de plecare, teoria generală a relativității, modelul lui Einstein conectează în mod analitic starea materiei și structura metrică a spațiului. Modelul lui Einstein a deschis un nou cîmp de construcție matematicii și fizicii, reînviind de asemenea cele mai vechi dezbateri filozofice asupra naturii. Deși nu a rezolvat în mod corespunzător problema cosmologică, teoria sa a determinat o mișcare generală în gîndirea fizică, reînvierea reflecției cosmologice în cadrul științelor și filozofiei naturii. În același timp, Einstein a formulat și primul tip de construcție a teoriilor cosmologice, urmat de Friedman, de Sitter, Weyl, Lemaître, Robertson ș.a., tip caracterizat prin demersul „inductiv": cosmologia era derivată din relativitatea generală printr-o extrapolare a principiilor valabile pentru fenomene locale la Universul în întregul său. Această extrapolare trebuie să permită reproducerea satisfăcă-

toare a trăsăturilor principale ale regiunii observate. Cosmologia relativistă a rămas însă într-o stare de nedeterminare ; ea lăsa fără răspuns întrebări care vizau atît forma geometrică a Cosmosului cît și comportamentul său temporal. Această situație își avea originea nu numai în insuficiența datelor de observație de care se dispunea pentru izolarea și adoptarea unui unic model, ci și în dezacordul dintre cosmologi privind cea mai bună alegere a ipotezelor de bază care întemeiau extrapolarea cosmologică.

Această stare a cosmologiei relativiste a generat — în jurul anului 1930 — o direcție nouă de cercetare care pare a se abate complet de la metoda științei tradiționale a naturii. Ea își află totuși o anumită justificare în specificul epistemologic al cosmologiei. Spre deosebire de alte tipuri de teorii și modele fizice care au ca obiect numai o parte a Universului fizic, o teorie cosmologică sau un model de univers trebuie nu doar să reproducă în mod satisfăcător trăsăturile relevante ale observației astronomice, ci și să ofere un cadru adecvat legilor generale și fenomenelor fizicii. Cosmologia poate fi astfel considerată atît o consecință a fizicii, cît și un punct de plecare al ei. Tocmai insistînd asupra celei de a doua particularități s-au formulat o serie de noi modele cosmologice, „neortodoxe" ; și în cadrul lor compararea și acordul cu proprietățile observate ale stelelor și nebuloaselor sînt necesare, dar primul lor obiectiv îl constituie satisfacerea unor exigențe teoretice fundamentale. Modelele lui : Milne, Eddington, Bondi, Whitrow, Walker, Gold ș.a. sînt construite deductiv, apriori, nu prin extrapolarea principiilor teoriei generale a relativității, valabile pentru fenomene locale, ci, printr-o răsturnare a ordinii operațiilor și a valorilor epistemologice (p. 106), punctul lor de plecare îl constituie nu ecuațiile einsteiniene ale cîmpului, ci postulatele suplimentare pe care relativitatea generală le introducea pentru ca problema cosmologică să fie determinată ; structura metrică a Universului trebuie să se deducă de aici.

Cosmologia deductivă (avînd ca modele principale „relativitatea cinematică" și „teoria stării staționare"), construită paralel cu marile succese ale metodei axiomatice în matematică și mecanica cuantică, pornește de la principii epistemologice antiempiriste, considerîndu-se o știință primară, căreia întreaga fizică trebuie să-i împrumute principiile sale, și nu o extrapolare, o extensie ulterioară a fizicii. După cum subliniază J. Merleau-Ponty, la originea teoriei cosmologice se pune un gen de „deducție transcendentală" a metricii universale. Ea trebuie să decurgă din însăși modul în care este definită ideea de Univers în funcție de exigențele raționale și metrice ale cunoașterii fizice.

Confruntarea celor două orientări ale cosmologiei contemporane a adus pe prim plan problema specificului legilor, teoriilor şi principiilor acestei discipline, precum şi a raportului dintre teorie şi experiment. În special cosmologia deductivă introduce nu numai o ruptură cu fizica clasică (de unde necesitatea, căreia i-a dat curs Milne de a reelabora vechile teorii fizice), ci şi o modificare a statutului epistemologic al structurilor teoretice ale cosmologiei. *Teoria* cosmologică nu mai constituie o extrapolare a unei teorii locale construită prin generalizarea inductivă a fenomenelor cunoscute prin observaţie şi experiment; ea se construieşte apriori, pe baza unor axiome epistemologice şi metodologice.

Tocmai axiomele epistemologice adoptate (exprimînd „condiţiile generale de regularitate şi covarianţă cerute apriori, după cosmologia deductivă, de un model de univers") permit formalismului matematic să intre în joc „pp. (114—115). După cum subliniază J. Merleau-Ponty, „epistemologia noilor cosmologi este deci «transcedentală», în sensul că pentru ei este vorba de determinarea conceptului de univers în funcţie de exigenţele raţionale şi metrice ale cunoaşterii fizice şi de a verifica pînă în ce punct observaţia autorizează rezultatele care pot fi obţinute aprioric din acest concept" (p. 115). Teoria, sau modelul cosmologic, nu au de aceea natura unei teorii fizice obişnuite. Teoria cosmologică refuză distincţiile tradiţionale dintre formă şi conţinut, dintre Universul real şi legile abstracte care-i ordonează fenomenele. Cosmologia deductivă ţine neapărat să identifice, la scara cosmică, *legile* şi *propoziţiile descriptive*: la nivelul Cosmosului unicitatea obiectului ştiinţei nu permite eliminarea, prin procedeele comparaţiei, a accidentalului în raport cu generalul şi esenţialul; legile îşi pierd astfel caracterul lor general, iar propoziţiile descriptive caracterul lor contingent. Tocmai această situaţie, în care nu se mai poate separa necesarul de întîmplător, posibilul de real, modifică necesar statutul „legii cosmologice" (p. 116). O elaborare deductivă a teoriei cosmologice trebuie totuşi să comporte (pentru a se distinge de o teorie pur formală) un moment de legătură cu realitatea fizică. Această legătură se poate realiza fie, în spiritul lui Kant, prin apel la experienţa despre timp a *ego*-ului, pe care se constituie sistemul conceptual şi metric care va permite orice experienţă, fie la o experienţă directă, comună, care are însă o semnificaţie cosmică imediată şi este deci interpretabilă cosmologic (după Bondi, orice observaţie asupra lumii, orice experienţă de laborator poate dezvălui elemente esenţiale cu privire la structura Cosmosului).

În oricare din formele în care s-ar constitui, cu toată poziția ei excepțională, cosmologia, ca știință a Universului fizic, nu poate evita confruntarea modelelor sale cu datele experienței. Totuși, această confruntare are un caracter cu totul deosebit: cosmologia, deși are un domeniu propriu de explorare empirică, nu are posibilitatea unei experiențe directe, hotărîtoare pentru precizarea și alegerea unui model teoretic care să convină cel mai bine reprezentării Universului.

Un punct la fel de controversat în judecarea statutului epistemologic al cosmologiei îl constituie locul ei în gîndirea științifică actuală, raporturile ei cu științele fizice, matematica și filozofia. Dacă programul cosmologiei este acela al unei științe a substratumului cosmic (Milne), a cărui cunoaștere trebuie să specifice dintre toate structurile matematice posibile pe acelea care sînt cel mai potrivit adaptate definiției mediului general și formelor fundamentale de existență a obiectelor fizice, atunci locul cosmologiei s-ar afla la începutul fizicii, în acel punct în care se stabilește însăși joncțiunea dintre cunoașterea matematică și cunoașterea fizică. Intenția cosmologiei deductive este, cum se exprimă J. Merleau-Ponty, aceea de a „situa enunțurile fundamentale într-o regiune logică plasată oarecum în afara aserțiunilor care se pot exprima și dezvolta cu ajutorul formalismului matematic" (p. 114). Dacă se adoptă programul inductiv al construcției cosmologiei, în care modelele de univers se instituie prin generalizare inductivă a teoriilor locale, atunci cosmologia se atașează ulterior fizicii ca o ultimă extrapolare a principiilor ei. Această poziție nu se poate împăca însă cu pretenția adîncă a gîndirii cosmologice la o determinare prealabilă a structurii metrice. Orice cale am alege, subliniază J. Merleau-Ponty, cosmologia, știință a unui obiect unic, „se plasează dintr-o dată în afara normelor curente ale gîndirii științifice" (p. 413). Cosmologia, și acesta pare a fi meritul sistemelor ei „neortodoxe" (deductive), își dezvăluie permanent deschiderea ei spre filozofie. Orice discurs cosmologic este dens de implicații filozofice. Prin aceasta se dezvăluie o mișcare generală a științelor naturii care face imposibilă orice delimitare pozitivistă apriori a unor norme fixe ale unei gîndiri științifice închise în sine. Interesul deosebit al cosmologiei din punctul de vedere al epistemologiei — conclude J. Merleau-Ponty — este acela că „renașterea sa recentă și strălucitoare a scos în mod deosebit în evidență deschiderea esențială a gîndirii științifice" (p. 416). Deschiderea și revizuibilitatea gîndirii fizice se manifestă astfel la însuși nivelul categoriilor ei, al osaturii ei conceptuale. Această situație reclamă participarea în constituirea ideii de univers, și în selectarea reprezentărilor

lui teoretice, pe lîngă aceea a tuturor domeniilor fizicii (eventual, şi a altor ştiinţe ale naturii) şi a opţiunilor filozofice. Aceasta pare a fi lecţia epistemologică cea mai înaltă pe care ne-a oferit-o, după J. Merleau-Ponty, evoluţia contemporană a cosmologiei. De această experienţă epistemologică, care a fost uneori comparată pentru profunzimea şi întinderea consecinţelor ei doar cu cea prilejuită de mecanica cuantică, trebuie să ţină seama orice încercare de definire a metodei cunoaşterii ştiinţifice în epoca actuală.

Deşi autorul manifestă o deosebită prudenţă în afirmarea unei interpretări generale, care ar fi în stare să unifice deosebit de numeroasele abordări, adesea complementare, analiza sa epistemologică este influenţată evident de raţionalismul contructivist al lui Gaston Bachelard. O asemenea perspectivă, care, în polemică cu empirismul şi inductivismul, devalorizează experienţa în raport cu teoria, cu construcţia matematică, îşi află o anumită justificare atît în specificul teoriilor cosmologice, cît şi în succesul formalismului şi al metodei axiomatice în logică, matematică şi fizica teoretică. Toate acestea dovedeau faptul că „gîndirea formală poate fi creatoare, că deducţia nu este condamnată la sterilitate, că numai o epistemologie foarte îngustă poate reduce conceptul matematic la un simplu reziduu schematic al abstracţiei şi al generalizării" (p. 110).

Pe planul concepţiei ontologice, cel puţin aşa cum reiese din ultima secţiune a lucrării, gînditorii care l-au influenţat cel mai mult pe J. Merleau-Ponty sînt A. N. Whitehead şi G. J. Whitrow, autori ai unor filozofii în care ideile de proces şi temporalitate sînt considerate notele cele mai profunde ale conceptului general al existenţei, reprezentările raţionale ale atributelor cele mai esenţiale ale realităţii. Ontologia „procesului" a lui Whitehead îi sugerează lui J. Merleau-Ponty o posibilă soluţie teoretică la problema acelor stări ipotetice finală şi iniţială ale Universului fizic: „Ar trebui să se poată separa complet, conceptul de devenire de cel de tranziţie, lucru nu prea uşor pentru gîndirea fizică, chiar pentru cea raţională, şi să se înţeleagă că natura poate fi o trecere fără punct de plecare şi punct de sosire, un fel de devenire absolută" (p. 311). Aceste două mari influenţe (epistemologică şi ontologică) se pot regăsi ca motive ale unei anumite atitudini a autorului faţă de natura reprezentărilor matematice din fizica teoretică, faţă de rolul conceptului de spaţiu-timp al lui Minkowski. Critica interpretării realiste şi absolutiste pe care i-au acordat-o „relativiştii din prima generaţie" (Minkowski, Weyl) îl conduce pe J. Merleau-Ponty spre o poziţie cu unele elemente instrumentaliste, în care spaţiu-timp-ul are doar o semnificaţie metodologică,

el este doar o „reprezentare matematică utilă” (ds^2 reprezintă o „expresie formală a unei condiții de coerență și de comunicabilitate pentru operațiunile de reperare a unui eveniment punctual și instantaneu, situat la distanță față de un observator oarecare” (p.429). O asemenea atitudine se poate observa și în comentariile cu care J. Merleau-Ponty însoțește propunerea lui Bondi, Hoyle și Jordan — eronată din punct de vedere teoretic — de a se revizui statutul principiului conservării energiei și al legilor de conservare în general ; interpretarea lor „neortodoxă” (reducerea principiilor de conservare la o lege fenomenologică cu valoare de generalizare empirică) este apreciată de J. Merleau-Ponty ca o „demistificare” a acestui principiu, o salvare a lui de deformările „materialismului ateu” sau ale teologiei creștine, un pas important în vederea specificării lui în contextul științei moderne, în vederea punerii lui la încercare„ prin analiză teoretică sau prin verificare experimentală” (p.431).

Accentele epistemologice antirealiste se împletesc uneori cu un antirealism ontologic, vizibil mai ales în modul în care autorul apreciază contribuția cosmologiei la elucidarea ideii de materie. Subliniind valoarea modelelor ei pentru eliberarea conceptului materiei de perspectiva „substanțialismului masei inerte” (p. 430). J. Merleau-Ponty crede că noua cosmologie dovedește pierderea „atributelor de permanență” ale materiei, acesteia rămînîndu-i doar „fuga, dispersarea, uneori chiar condensarea, dar numai abandonînd întotdeauna cîte ceva dispersării universale ; îi rămîne poate, de asemenea, atributul de a se naște, dar nu și cel de a dăinui” (p. 430).

Subliniind contribuția cosmologiei actuale la transformarea și îmbogățirea sensului unor categorii centrale ale gîndirii științifice și filozofice, J. Merleau-Ponty apreciază ca direcție generală de evoluție a spiritului științific încercarea lui de a priva aceste categorii de orice „semnificație ontologică”, pentru a nu le lăsa decît „un conținut experimental sau « fenomenologic » într-o formă matematică” (p. 419). Asemenea formulări, care țin evident de un formalism epistemologic, sînt însă de cele mai multe ori corectate sau amendate chiar de autor, prin dovezi care subminează acest mod pozitivist de a concepe „osatura conceptuală” a științei.

Insistența în sublinierea caracterului inadecvat al intuițiilor substanțialiste la nivelul cosmologiei și al fizicii cuantice îl conduce pe autor uneori la formulări inadecvate de genul : „dematerializarea materiei”, „declinul materiei”, „transformarea materiei în

radiaţie" ş.a.; aceste expresii nu trebuie înţelese în primul rînd ca nişte concesii făcute idealismului ci ca un rezultat al unei întrebuinţări incorecte a conceptelor filozofice luate în toată generalitatea lor (multe neînţelegeri provoacă şi înţelegerea „dialecticii" numai în sensul kantian al „gîndirii antinomice"). Toată această interpretare limitativă afectează doar vechiul concept al materiei, definit în cadrul materialismului metafizic al secolului al XVIII-lea în mod ontologic, substanţialist ca „substrat al tuturor transformărilor vizibile"; ea nu vizează însă nicidecum conceptul materialist-dialectic al materiei, definit într-o perspectivă gnoseologică prin „calităţi secundare", care indică modul de raportare a existenţei obiective la conştiinţă (obiectivitatea, cognoscibilitatea, netranscendenţa), şi nu printr-o listă de „note caracteristice", de „calităţi primare" aparţinînd unei substanţe în sine, independent de relaţia ei cu conştiinţa. Trebuie să subliniem de asemenea faptul că numeroasele comentarii ale autorului la ideea „creării materiei" — prezentă în special în modelul stării staţionare — au în vedere acelaşi concept substanţialist al materiei. Numai astfel se poate vorbi de „crearea materiei" în contextul unor ipoteze care vizează de fapt generarea unor forme de substanţă sau cîmp din alte forme, deocamdată nedescrise de legile fizicii, ale materiei.

Deşi există asemenea elemente ale unei concepţii instrumentaliste, ce apar în prim plan mai ales în interpretarea temelor cosmologiei aprioriste, J. Merleau-Ponty nu le supralicitează în defavoarea unei perspective realiste asupra ştiinţei, perspectivă implicată de cosmologia relativistă, cea mai acceptată variantă a cosmologiei contemporane. Mai degrabă, am putea considera lucrarea lui J. Merleau-Ponty ca un efort de a reda specificitatea fiecărei orientări, de a reţine fără a simplifica pluralitatea de experienţe din această ramură a ştiinţei contemporane, în vederea alcătuirii profilului ei epistemologic complex şi ireductibil.

Preocupat în primul rînd tocmai de dezvăluirea premiselor şi implicaţiilor epistemologice ale modelelor cosmologice, J. Merleau-Ponty lasă uneori insuficient reliefate unele poziţii şi conexiuni filozofice mai generale ale teoriilor analizate. Deşi subliniază asocierea cu noua cosmologie a unor teme şi valori idealiste sau chiar teologice, autorul le tratează exclusiv ca „motive de ordin epistemologic", încercînd să le evidenţieze ineficienţa pe plan ştiinţific. Astfel, teologia, care a determinat fundamental „stilul" cosmologiei lui Milne, este considerată numai sub aspectul valorii ei ca „sursă a cunoaşterii fizice" (pe baza unei analize foarte

detaliate J. Merleau-Ponty afirmă incapacitatea ei de a se constitui într-un izvor autentic al teoriilor fizice) nu și ca o interpretare a rezultatelor cunoașterii cosmologice avînd o finalitate ideologică manifestă.

În lucrarea lui J. Merleau-Ponty se întîlnesc și o serie de teze sau interpretări epistemologice eronate, cum ar fi cea în care se determină semnificația „probabilității" prin „măsura ignoranței" (p. 289), sau cea care reduce considerabil rolul teoretic al ideii de infinit în cunoașterea fizică. În același sens se poate cita și interpretarea pe care J. Merleau-Ponty o dă statutului epistemologic al principiului de covarianță (p. 190), acela de „lege transcendentală a intersubiectivității". Atît legarea acestui principiu de ideea intersubiectivității cît și considerarea lui o idee transcendentală, pe motivul că „Einstein îl propune nu ca expresia unei proprietăți *an sich*, ci ca pe un postulat al teoriei fizice", nu sînt întemeiate. Acest principiu face parte din clasa mai generală a formulelor „meta-nomologice" care exprimă trăsături sau exigențe ale legilor și ipotezelor generale ale unei teorii. Valoarea lui este în primul rînd euristică și normativă, reprezentînd, după cum spunea și Einstein, un „principiu de restricție pentru legile naturale". Acest gen de principii sau legi este esențial pentru fizică. Ele nu se acceptă însă pe motive apriori (nici nu au vreo legătură cu „observatorii" sau „intersubiectivitatea"), ci pe aceleași temeiuri pe care se acceptă și celelalte legi ale fizicii: dacă sînt descriptive — prin verificare, dacă sînt prescriptive — prin fertilitate, operaționalitate, putere de unificare teoretică, consistență cu cadrul conceptual al științei etc. (M. Bunge). Toate aceste interpretări greșite nu diminuează însă esențial meritul incontestabil al lucrării sale, acela de a oferi un prim model de analiză epistemologică a situației conceptuale a cosmologiei contemporane. Evident, pentru întregirea acestei analize este necesară integrarea rezultatelor din ultimul deceniu ale astrofizicii și cosmogoniei, precum și a noilor modele sau idei cosmologice. Deși inevitabil incompletă, prin lucrarea lui J. Merleau-Ponty literatura asupra problemelor de cosmologie și de filozofia științei se îmbogățește cu o remarcabilă sinteză care sperăm că va influența ambele domenii de cercetare.

ILIE PÂRVU

CUPRINS

CAPITOLUL VI

CAPITOLUL VII

PARTEA A TREIA

CAPITOLUL VIII

Redactor MARIA BORICEAN
Tehnoredactor CONSTANTIN IORDACHE
Coli de tipar 33,50
Tirajul 10 700 ex. Bun de tipar: 19.XII.1978


c. 1666 – I.P. Informaţia, Str. Brezoianu,
Nr. 23 – 25 Bucureşti
Republica Socialistă România

Volumul prezintă apariţia şi dezvoltarea ideilor cosmologice ale secolului nostru, incepînd cu primele încercări ale lui Einstein şi de Sitter şi mergînd pînă la ultimele teorii, ale lui Hoyle şi Narlikar. Sînt analizate pe larg legătura dintre dezvoltarea ideilor fizice, progresul observaţiei astronomice rezultat în urma construirii unor instrumente optice gigant, şi mersul legic, necesar, al gîndirii cosmologice din prima jumătate a secolului nostru.

Cartea se distinge printr-o expunere riguroasă, ştiinţifică a unor probleme considerate pînă nu de mult de domeniul speculaţiei : originea Universului, proprietăţile sale spaţio-temporale, caracterul finit sau infinit al timpului în trecut ca şi în viitor, reversibilitatea sau ireversibilitatea legilor fizicii, structura şi evoluţia materiei la scara cosmică etc.

Editura ştiinţifică şi enciclopedică



Lei 26

osmologia
olului XX

Jacques Merleau-Ponty